MAX

4 A

NOVA

HAVO

Natuurkunde

HOOFDSTUK 2

Elektriciteit

Aangepast aan de nieuwe syllabus

NAAM EN KLAS:

MALMBERG



HOOFDSTUK 2

Elektriciteit

Zonnecellen, batterijen en het lichtnet zijn voorbeelden van elektrische spanningsbronnen. Met de elektrische energie van een spanningsbron kun je een stroom laten lopen om een elektromotor te laten draaien. Om dat voor elkaar te krijgen, moet je de spanningsbron en de elektromotor opnemen in een elektrische schakeling. Bij elektriciteit moet je je steeds bewust zijn van de risico's: een te grote stroomsterkte door je lichaam kan fataal zijn.

Introductie

Praktijk

Theorie

Maatschappij

Wat weet je al over elektriciteit?

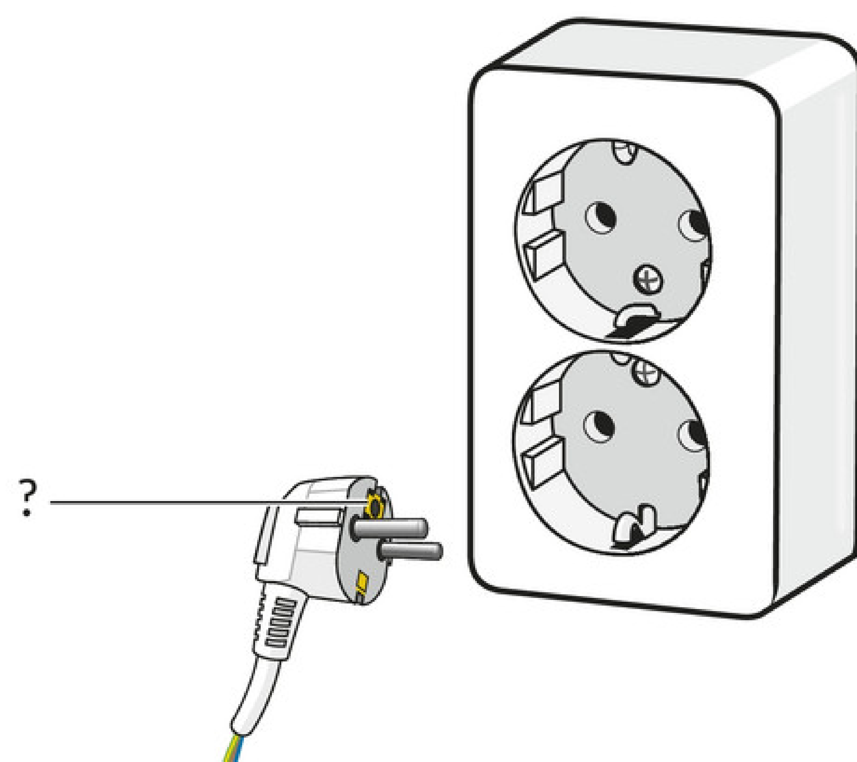
Leerdoelen
1 Je kunt uitleggen wat wordt bedoeld met overbelasting en kortsluiting.
2 Je herkent de verschillende soorten elektriciteitsdraad.
3 Je kunt berekeningen maken met het verband tussen weerstand, spanning en stroomsterkte.
4 Je kunt uitleggen wanneer voor een component de Wet van Ohm geldt.
5 Je kunt benoemen hoe de weerstand van een NTC verandert bij een veranderende temperatuur.

In de vorige leerjaren heb je al een aantal dingen over elektriciteit geleerd. Je hebt deze kennis weer nodig wanneer je aan dit hoofdstuk begint. Wil je snel controleren wat je nog weet? Maak dan de volgende opdrachten.

Opdrachten voorkennis

1 Geef van elke bewering aan of deze waar of onwaar is.
Bij overbelasting is de stroomsterkte te hoog. Hierdoor kan er brand ontstaan.
waar / onwaar
Kortsluiting is een andere situatie dan overbelasting. Door kortsluiting kan geen brand ontstaan. *waar / onwaar*

2 In afbeelding 1 zie je een tekening van een stekker en een stopcontact.
Hoe heet het onderdeel dat in de figuur wordt aangegeven met het vraagteken?
- ☐ fasedraad
- ☐ nuldraad
- ☐ randaarde
- ☐ zekering



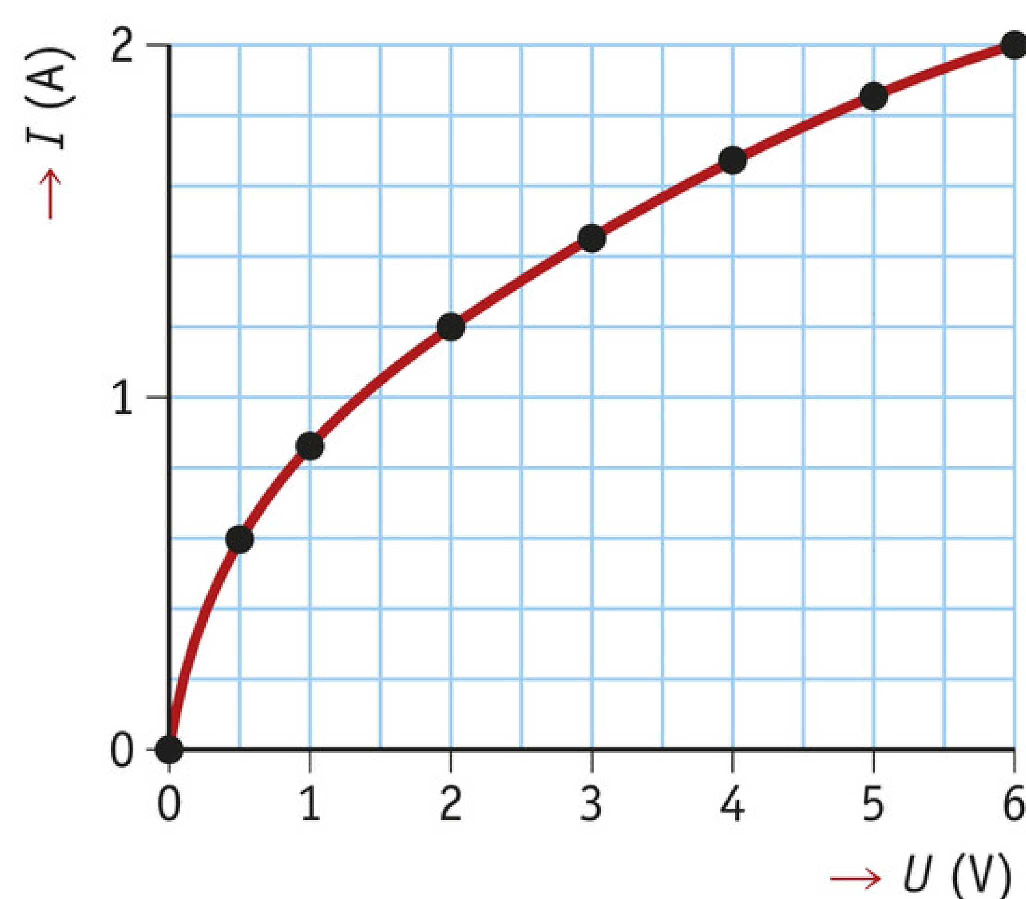
▲ **afbeelding 1**

3 Bij een webwinkel kun je reservelampjes kopen voor een zaklantaarn. In de beschrijving staat:

Reservelamp voor zaklamp 3,5 V – 0,7 W – 200 mA Fitting = E10 – Helder

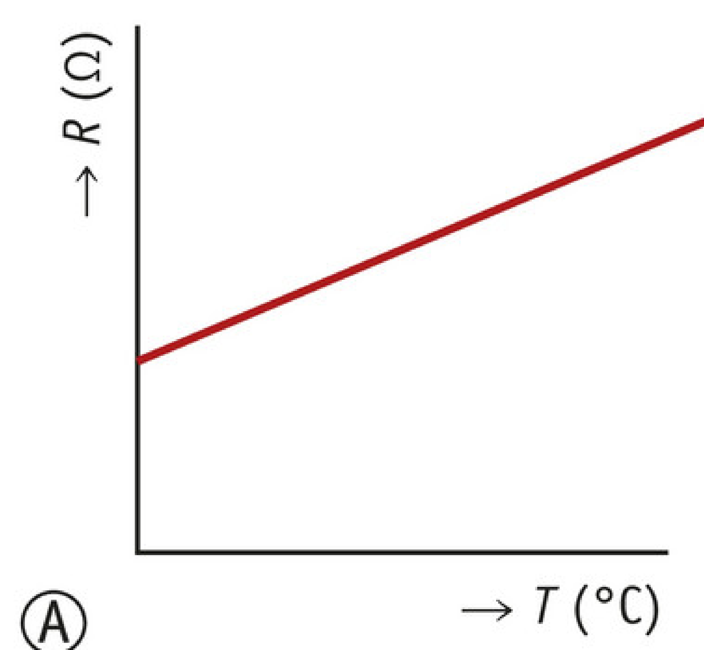
Bereken de weerstand van het reservelampje als dit op de juiste spanning brandt. Rond af op één decimaal.
De weerstand van het reservelampje is ________ Ω als het op de juiste spanning brandt.

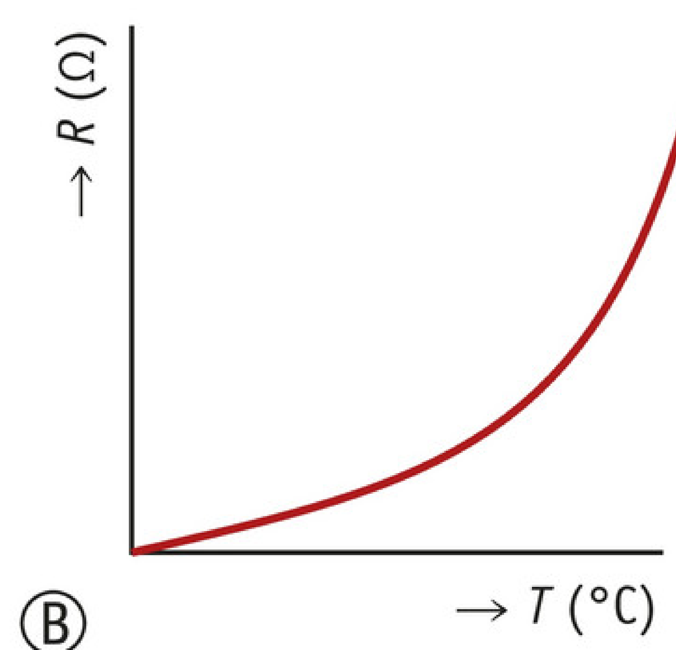
4 Zoë heeft enkele metingen verricht aan een zeer dunne metaaldraad. Haar resultaten heeft ze verwerkt in het (I, U)-diagram (afbeelding 2).
Wat kun je zeggen over de weerstand van de draad als er meer spanning over staat?
De weerstand *blijft gelijk* / *wordt groter* / *wordt kleiner*.

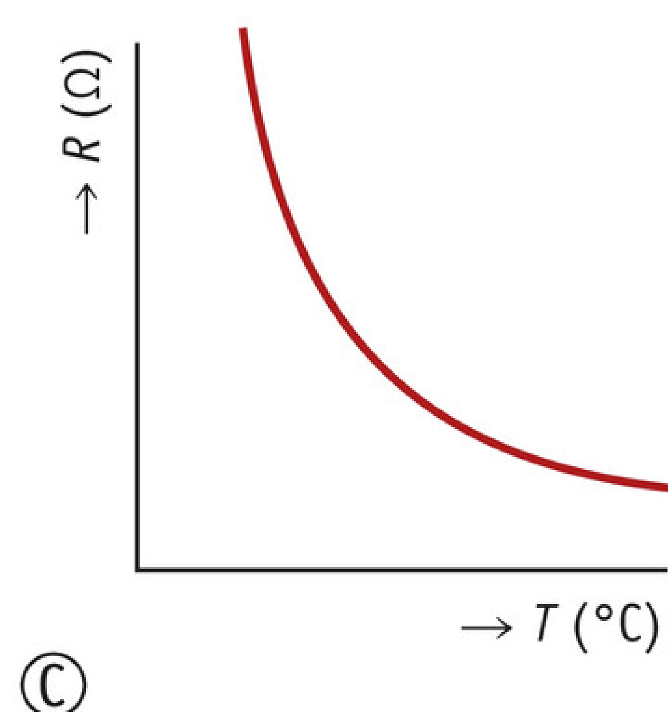


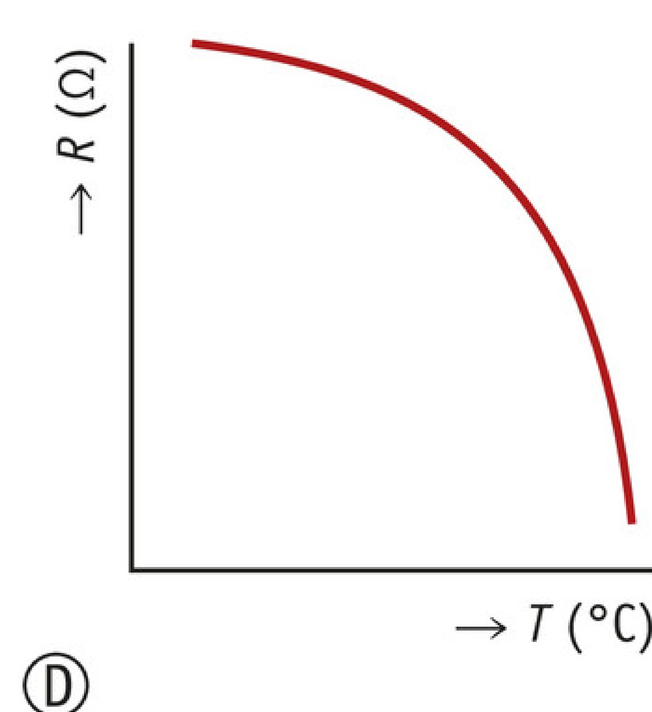
▲ **afbeelding 2**

5 De weerstand van een NTC houdt verband met de temperatuur.
In welke grafiek van afbeelding 3 is dit verband juist getekend?
☐ in grafiek A
☐ in grafiek B
☐ in grafiek C
☐ in grafiek D









▲ **afbeelding 3**

 Wil je weten of je voldoende voorkennis hebt voor dit hoofdstuk, maak dan online de *Voorkennistoets*.

Praktijk

Elektriciteit in het lichaam

Elke dag maak je gebruik van elektriciteit. Denk maar aan de koelkast en de lampen in huis en niet te vergeten je telefoon. Deze elektriciteit is kunstmatig, omdat deze door de mens wordt opgewekt. Maar in de natuur komt ook elektriciteit voor. Denk bijvoorbeeld aan bliksem, maar ook aan de sidderaal, een zoetwatervis die in Zuid-Amerika voorkomt en die stroomstoten kan afgeven. En misschien verrassend: elektriciteit komt ook in het menselijk lichaam voor.



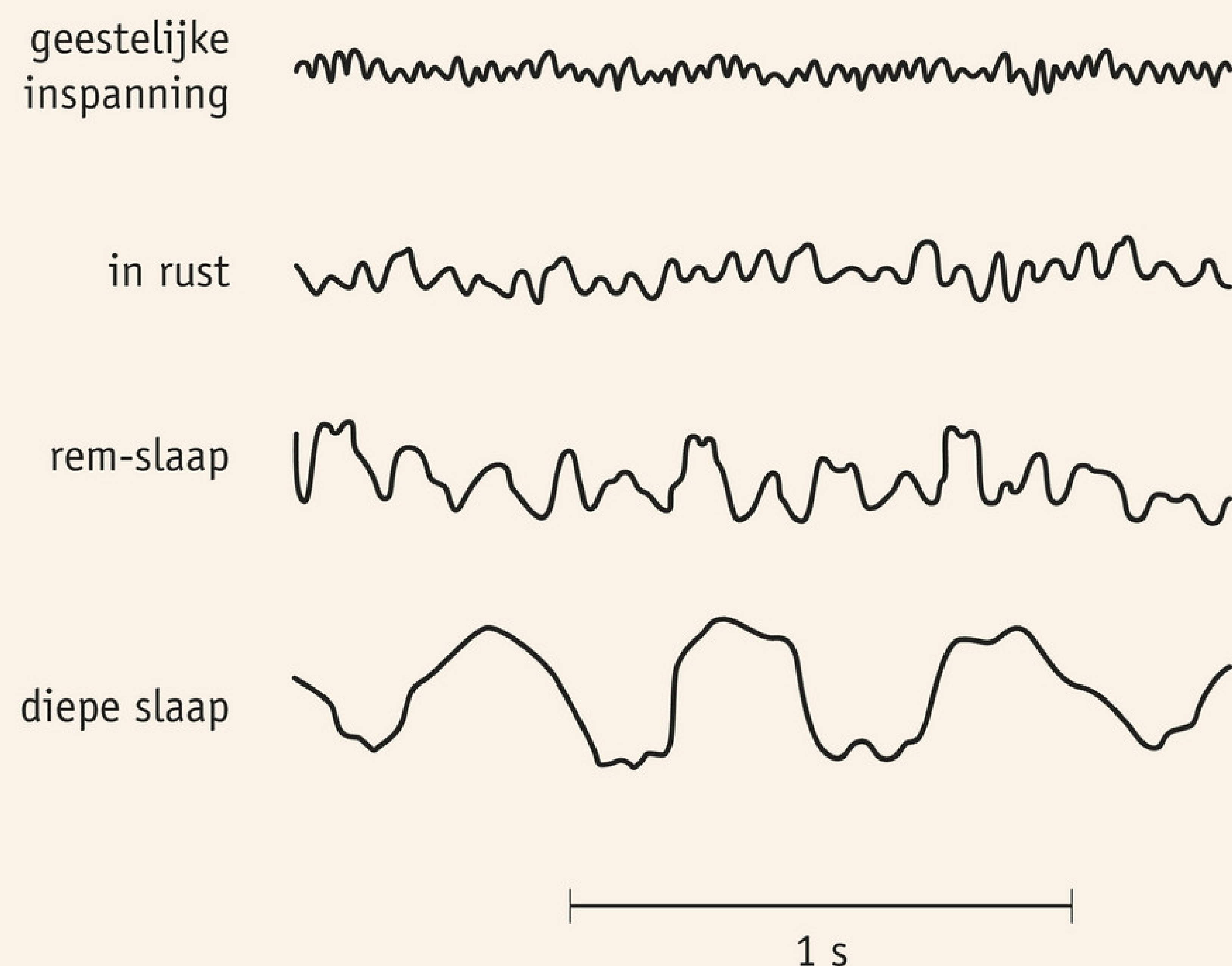
Elektriciteit in de hersenen

In de hersenen lopen minieme elektrische stroompjes. Artsen kunnen de werking van de hersenen dan ook onderzoeken door op het hoofd elektroden te bevestigen die de hersenactiviteit meten. Meestal zitten die elektroden in een soort muts die op het hoofd van de patiënt wordt geplaatst (figuur 1). De spanningen die zo gemeten worden zijn heel klein, in de orde van grootte van 100 μV. De grafiek die op basis van de metingen wordt gemaakt, heet eeg, ofwel elektro-encefalogram (*encefalo* betekent hersenen). Met een eeg kunnen ziekten worden opgespoord die iets te maken hebben met het functioneren van de hersenen, zoals epilepsie (figuur 2).

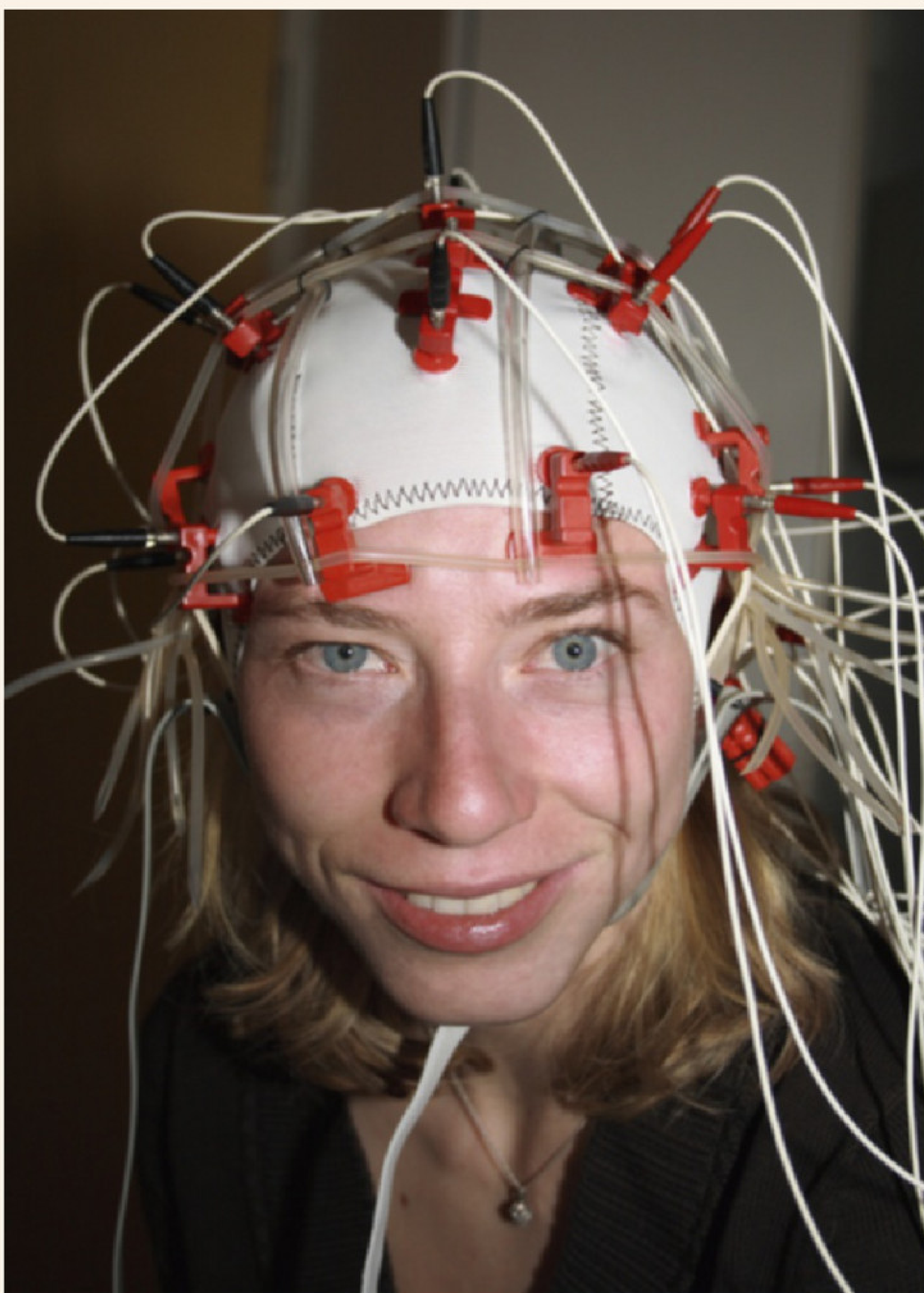
Elektriciteit in het hart

Het menselijk hart klopt normaal gesproken ongeveer 70 keer per minuut. Elke keer wordt bloed in de slagaders en aders door het lichaam gepompt. Het pompen van het hart is in feite het samenknijpen van alle hartcellen tegelijkertijd. De zogeheten sinusknoop, een groep cellen in de rechterboezem van het hart, produceert een elektrische spanning. Deze spanning verplaatst zich door het hele hart en zet de hartcellen aan om zich samen te trekken. Als alle cellen dit tegelijk doen, werkt het hart als een krachtige pomp. Bij een hartstilstand trekken de spiercellen zich niet meer *tegelijkertijd* samen, maar willekeurig. Daardoor pompt het hart niet meer. Door aan het hart met een defibrillator een spanningsstoot toe te dienen, gaan alle cellen zich weer tegelijk samentrekken en functioneert het hart weer. Je vindt tegenwoordig op steeds meer plaatsen defibrillatoren, zelfs op scholen.

Hoe groter de stroom, des te gevaarlijker het is.



▲ **figuur 2** een eeg



▲ **figuur 1** een eeg maken



▲ **figuur 3** een aed

Een moderne defibrillator vertelt je stap voor stap wat je moet doen. Een defibrillator heet ook wel een aed: automatische externe defibrillator (figuur 3).

Elektrocutie

Als er een stroom door je lichaam loopt die daar niet thuishoort, wordt dat elektrocutie genoemd. Er kan dan van alles met je gebeuren. Een heel kleine stroom veroorzaakt een kriebelend gevoel. Vroeger waren er op middelbare scholen 'folterkastjes' aanwezig waarmee je zo'n kleine stroom door je lichaam kon laten lopen. Zo'n kleine stroom uit een folterkastje doet geen pijn en is niet gevaarlijk. Grotere stromen die door je lichaam lopen, kunnen wel gevaarlijk zijn. Hoe gevaarlijk hangt van een aantal factoren af: de grootte van de stroom, hoelang deze stroom door je lichaam loopt en door welke organen de stroom loopt. Hoe groter de stroom, des te gevaarlijker het is. De grootte van de stroom die door je lichaam loopt, hangt af van de spanning die over je lichaam staat en van de weerstand van het lichaam.

Hoe vochtiger je huid, des te kleiner de weerstand.
Als er een stroom door je lichaam loopt, gaan de spieren zich samentrekken. In het ernstigste geval trekken ook je hartspier en de spieren die zijn betrokken bij de ademhaling zich samen. Dan ontstaat een levensgevaarlijke situatie. Verder produceert de stroom warmte in het lichaam. Hierdoor kunnen brandwonden ontstaan. In tabel 1 kun je zien wat er met je lichaam gebeurt als er een stroom doorheen loopt.

▼ **tabel 1** effecten van elektrische stroom op het menselijk lichaam

stroomsterkte	verschijnsel
2 mA	kriebeling in de hand
40 mA	spieren verkrampen in hand en onderarm
90 mA	ademhalingsstilstand
300 mA	verlies van bewustzijn
1 A	hartstilstand waarbij slachtoffer overlijdt

TENS

Elektriciteit en magnetisme worden ook gebruikt om pijn te bestrijden. Zo worden met behulp van TENS (transcutane elektrische neurostimulatie) zenuwen geprikkeld met elektrische stroom die door de huid gaat, zie tabel 1. Elektriciteit om pijn te bestrijden wordt al van vlak na de jaartelling toegepast. Pijnlijke plekken zouden behandeld kunnen worden door er een levende sidderrog tegenaante houden. Tegen het einde van de achttiende eeuw hadden onder meer Alessandro Volta en Joseph Priestley de effecten van elektriciteit op mensen en dieren beschreven. Het moderne TENS wordt zelfs door zorgverzekeraars vergoed. Wetenschappelijk bewijs dat de methode daadwerkelijk helpt bij pijnbestrijding is echter flinterdun.

▼ **tabel 2** toepassingen van TENS in de medische literatuur

neurologische pijnen:	chirurgie:
neuropathie, plexuslaesies, reflexdystrofie, migraine, (cluster) hoofdpijn, trigeminusneuralgie of faciale pijn, (post)herpetische neuralgie, fantoompijn	bij acuut trauma, (acute) post-operatieve pijn
spierpijn:	**urologie:**
algemeen, nek-/schouder-/lagerugpijn	urologische stoornissen, pijn in het kleine bekken, incontinentie
oncologie:	**orthopedie:**
palliatieve pijn, botmetastasen	(osteo)artritis
psychiatrie:	**reumatologie:**
Golfoorlogsyndroom	revalidatie bij reumatoïde artritis
gynaecologie:	**tandartsgeneeskunde:**
gynaecologische pijn / neoplasmata, pijn tijdens de bevalling, pijn na sectio	tijdens tandheelkundige ingrepen
cardiologie:	**overige:**
angina pectoris	algemene chronische pijnen, weefseldoorbloedingsstoornissen, chronische pancreatitis, brandwonden

naar: Stichting Skepsis

Opdrachten

Bestudeer eerst de theorie van dit hoofdstuk voordat je de volgende opdrachten uitvoert.

1 Onder spanning
Door een defect staat het metalen omhulsel van een wasmachine onder een spanning van 230 V. Stel dat je dit omhulsel aanraakt.
- **a** Bereken de stroomsterkte die door je lichaam gaat als je kurkdroog bent en een weerstand hebt van 32 kΩ.
- **b** Leg uit of de stroomsterkte die je bij opdracht a hebt berekend gevaarlijk is.
- **c** Bereken de stroomsterkte die door je lichaam gaat als je kletsnat bent, waardoor je een weerstand hebt van 500 Ω.
- **d** Is de stroomsterkte die je bij opdracht c hebt berekend gevaarlijk?
- **e** Op welke manier kun je voorkomen dat een te grote stroomsterkte door je lichaam gaat? Licht je antwoord toe.

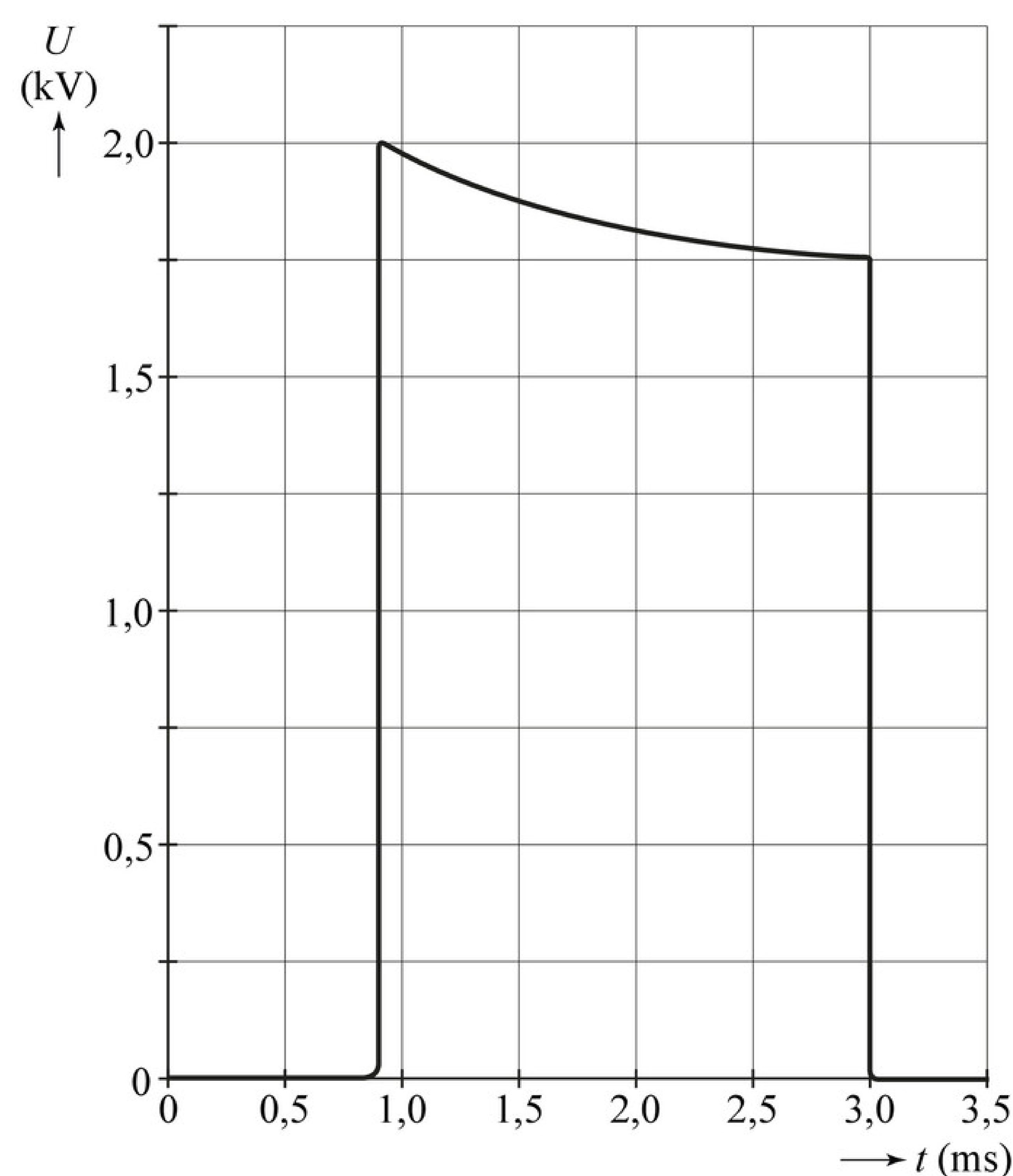
2 Elektrische vissen
In de natuur komen vissen voor die stroomstoten gebruiken om een prooi te verlammen. Een voorbeeld van zo'n vis is de sidderaal.
Op internet staat over de sidderaal de volgende zin: 'Een sidderaal verdooft zijn prooi met een stroomstoot van enkele honderden volts.'
Wat is er natuurkundig gezien niet juist aan deze uitspraak?



▲ **figuur 4** de elektroden van de defibrillator

3 Defibrillator
Een defibrillator wordt gebruikt om het hart van mensen met een acute hartstilstand te reactiveren.
De borstkas van de patiënt wordt ontbloot, waarna elektrisch geleidende gel op de huid wordt gesmeerd. Nadat de elektroden (figuur 4) op de gel zijn geplaatst, dient men een korte sterke spanningspuls toe. Door het hart van de patiënt loopt dan gedurende korte tijd een grote stroom.
In figuur 5 staat het verloop van de spanning als functie van de tijd weergegeven.
Dankzij de gel is de weerstand tussen de elektroden slechts 25 Ω. Neem aan dat deze weerstand tijdens de duur van de puls constant is.
- **a** Bepaal de grootste stroomsterkte tijdens de puls tussen de elektroden.
- **b** In noodsituaties gebruikt men de defibrillator soms zonder eerst gel aan te brengen. De weerstand tussen de elektroden is dan veel groter. Leg uit wat het gevolg hiervan is voor het vermogen van de puls.

bron: examen vwo 2009-II



▲ **figuur 5** de (U,t)-grafiek van de spanningspuls van een defibrillator

1 Lading

In deze paragraaf leer je:
- het begrip 'vrij elektron' kennen;
- dat ladingen elektrische krachten op elkaar uitoefenen;
- de begrippen 'geleider' en 'isolator' begrijpen.

Er zijn twee typen lading: positieve en negatieve lading. Voorwerpen met hetzelfde type lading stoten elkaar af en voorwerpen met een verschillend type lading trekken elkaar aan.

Elektronen

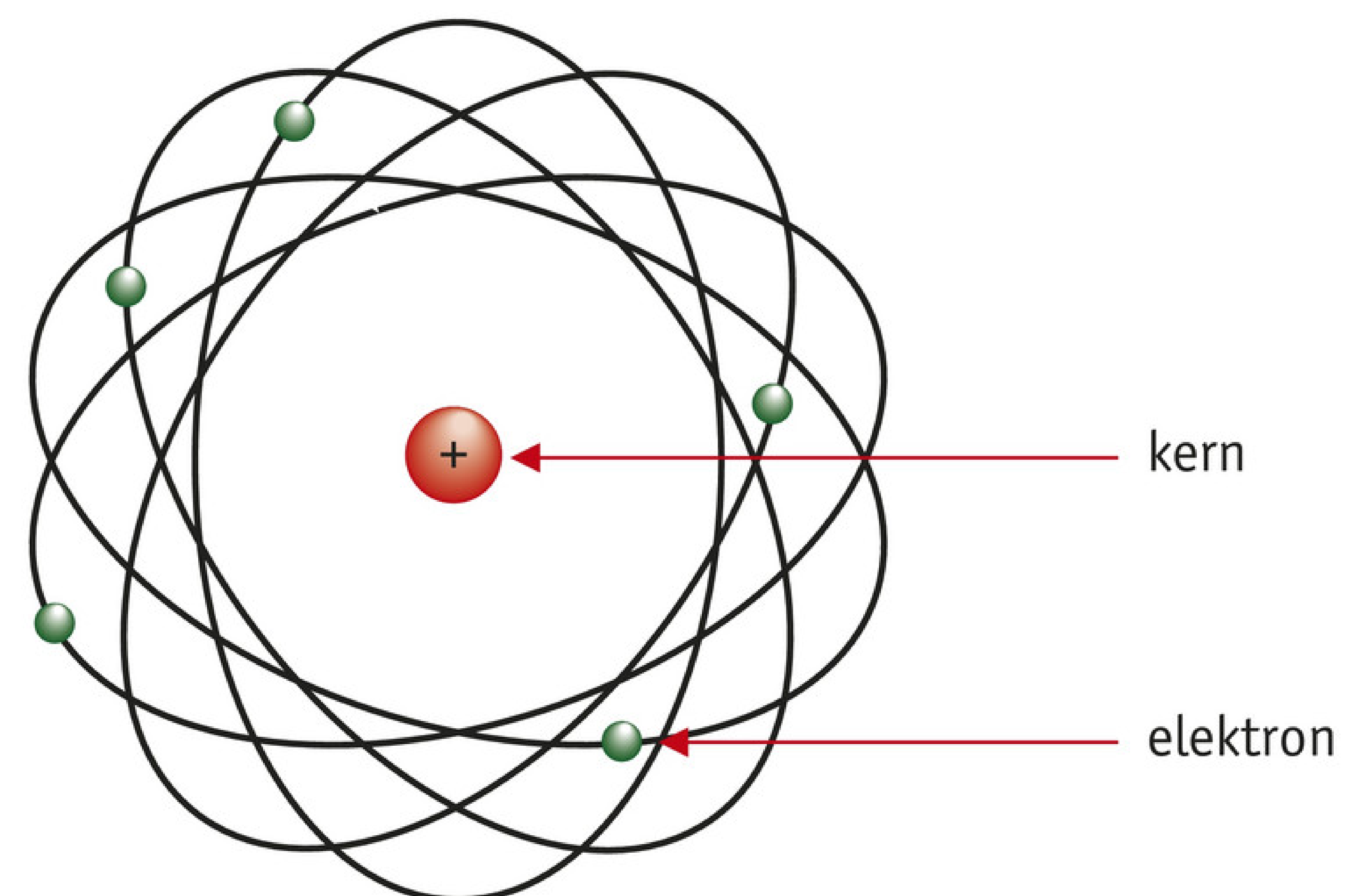
Je herinnert je misschien proefjes waarbij je met behulp van een doek een neutrale pvc-buis statisch kon laden. De verklaring hiervoor is dat een neutraal voorwerp wél lading bezit, namelijk evenveel positieve als negatieve lading. Door het wrijven wordt de lading gescheiden. Daardoor krijgt de pvc-buis negatieve lading en blijft het doekje met een even grote overmaat positieve lading achter.
De negatieve lading die naar de buis is overgesprongen, bestaat uit kleine deeltjes: **elektronen**. Deze elektronen bezitten elk de allerkleinste hoeveelheid lading die in de natuur kan voorkomen: de **elementaire lading** e.
Als een groot aantal elektronen van het doekje naar de buis springt, wordt de buis negatief geladen. Door het toenemend aantal elektronen op de buis wordt de onderlinge afstotende elektrische kracht steeds groter. Hierdoor kunnen volgende elektronen steeds moeilijker op de buis komen en stopt uiteindelijk het opladen.
Een neutraal voorwerp wordt positief geladen als elektronen het voorwerp verlaten. Er bestaan geen vergelijkbare kleine en beweeglijke positieve deeltjes.

Atoommodel

De verklaring voor het scheiden van de lading is te vinden bij de allerkleinste deeltjes waaruit een element bestaat: het atoom. Een atoom is zó klein dat je het niet kunt zien. Om de eigenschappen van een atoom te verklaren, kun je gebruikmaken van een atoommodel (figuur 2).

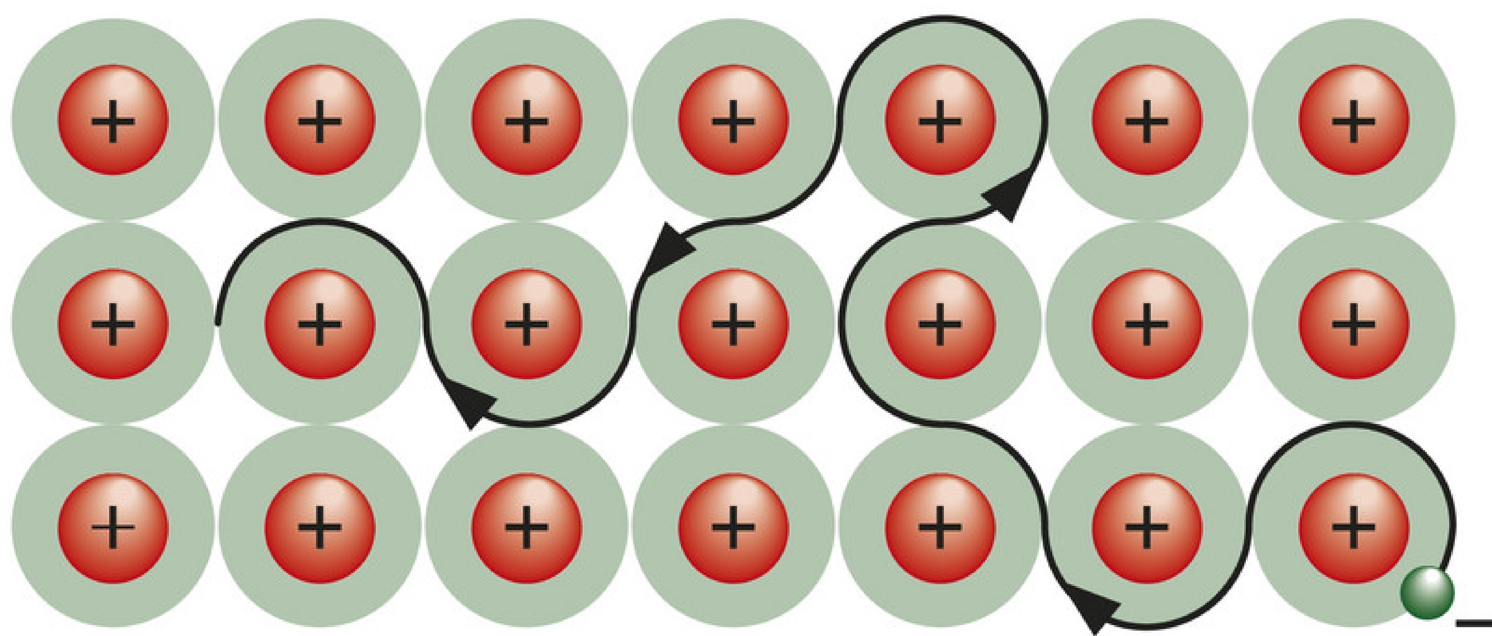


▲ **figuur 1** De haren van dit meisje zijn elektrisch geladen.



▲ **figuur 2** een atoommodel

In het atoommodel is te zien dat een atoom bijna helemaal leeg is. Alleen de kern en een aantal kleine deeltjes, de elektronen die om de kern heen bewegen, hebben massa. Het atoom zelf is elektrisch neutraal, maar zowel de kern als de elektronen zijn elektrisch geladen. Elektronen zijn negatief geladen, de kern is positief. De elektronen compenseren de elektrische lading van de kern. Doordat elektronen en kern tegengesteld geladen zijn, worden de elektronen in het atoom vastgehouden.
In een vaste stof zijn de atomen regelmatig gerangschikt en trillen daar op hun plaats. In een metaal verlaten de buitenste elektronen soms hun atoom en gaan door de vaste stof zwerven. Het atoom dat zonder buitenste elektron achterblijft, is positief geladen. Je noemt het atoom nu een (positief) **ion**. Soms komt zo'n **vrij elektron** in de buitenste baan van een ander atoom terecht, waardoor dat atoom juist een elektron 'te veel' krijgt (figuur 3). Dan is dat atoom negatief geladen en is het een negatief ion. Een losgeslagen elektron kan soms zelfs uit het rooster ontsnappen en de stof verlaten. Metalen met veel vrije elektronen heten **geleiders**.



▲ **figuur 3** de beweging van een vrij elektron in een metaalrooster

Als lading zich in een stof niet kan verplaatsen, wordt die stof een **isolator** genoemd. Bij een isolator kunnen de buitenste elektronen niet overstappen doordat ze krachtig aan hun atoom zijn gebonden, of doordat de atomen in die stof zich te ver van elkaar bevinden.

De grootheid lading

Het symbool van de elektrische grootheid lading is Q. De **lading Q** wordt uitgedrukt in de eenheid **coulomb** (C). De lading van een elektron is zeer klein: $-1{,}60 \cdot 10^{-19}$ C. In Binas tabel 7A vind je deze natuurconstante terug als elementair ladingsquantum e.

Voorbeeldopgave 1

Een ballon wordt opgewreven met een doekje en krijgt een lading van –2,0 mC.
Bereken het aantal elektronen dat bij het wrijven op de ballon is aangebracht.

Uitwerking
Je weet dat de lading van een elektron $-1{,}60 \cdot 10^{-19}$ C is (Binas tabel 7A).
De lading van de ballon is $-2{,}0 \cdot 10^{-3}$ C.
Het aantal aangebrachte elektronen is: $\dfrac{-2{,}0 \cdot 10^{-3}}{-1{,}60 \cdot 10^{-19}} = 1{,}3 \cdot 10^{16}$

Onthoud!

- Er zijn twee soorten lading: positieve en negatieve lading.
- Gelijknamige ladingen stoten elkaar af, ongelijknamige ladingen trekken elkaar aan.
- In metalen kunnen sommige elektronen tussen de atomen door 'vrij' bewegen.
- Elektronen bezitten een elementaire lading: $e = -1{,}60 \cdot 10^{-19}$ C.

Opdrachten

1 Lading
Beantwoord de volgende vragen.
a Leg uit waarom elektronen, hoewel ze elkaar afstoten, toch bij elkaar in een atoom blijven.
b Wat is het verschil tussen een atoom en een ion?
c Bestaan er ongeladen voorwerpen? Licht je antwoord toe.

2 Glas opwrijven
Voorwerpen van verschillende materialen kunnen worden geladen als ze langs elkaar worden gewreven. Door met een zijden doek over een glazen plaat te wrijven, krijgt de plaat een positieve lading van 40 mC.
a Welke deeltjes zijn overgesprongen tijdens het wrijven?
b Bereken het aantal deeltjes dat is overgesprongen.

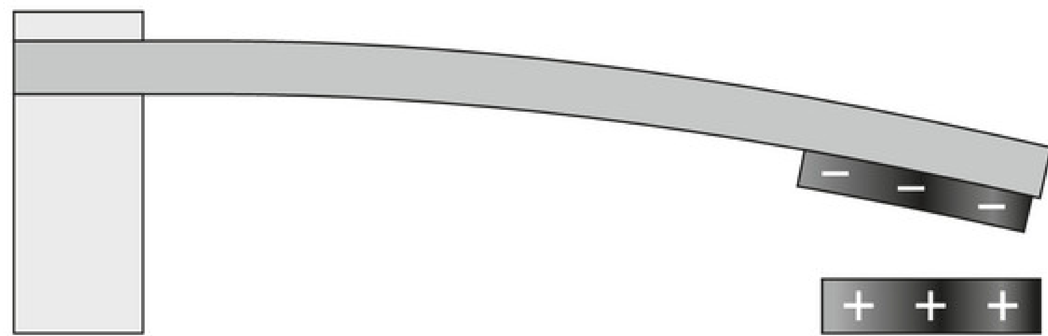
3 Elektroscoop
Een elektroscoop is een instrument waarmee je kunt aantonen dat een voorwerp geladen is. Het bestaat uit een metalen staaf, geïsoleerd opgehangen in een doorzichtig kastje (figuur 4). Aan de staaf is in het kastje een scharnierend strookje metaal bevestigd.



▲ **figuur 4** een geladen elektroscoop

a Leg uit waarom de elektroscoop een uitslag vertoont als je lading op de metalen staaf aanbrengt.
b Leg uit of je aan de elektroscoop in figuur 4 kunt zien of deze positief of negatief geladen is.

4 Geladen plaatjes
Een kunststofstrip is aan één kant ingeklemd. Op de strip zit een metalen plaatje dat negatief geladen is. Tegenover dit plaatje wordt een positief geladen plaatje geplaatst. De plaatjes trekken elkaar aan waardoor de strip buigt (figuur 5).



▲ **figuur 5** een gebogen strip

Leg uit waarom de strip terugschiet als de plaatjes elkaar raken.
naar: examen 2011-I

5 Haren overeind
Het meisje in figuur 1 houdt haar handen op een geladen vandegraaffgenerator. Er stromen elektronen van deze generator naar het meisje.
Leg uit waarom haar haren zo ver mogelijk uit elkaar gaan staan.

6 IJzeratoom
Het atoomnummer geeft aan hoeveel elementaire ladingen zich in de kern bevinden.
a Zoek in Binas tabel 99 het atoomnummer van ijzer op.

Het atoom bevat zowel positieve ladingen (in de kern) als negatieve ladingen (de elektronen).
b Bereken de lading van de kern van een ijzeratoom.
c Hoeveel elektronen bewegen er om de kern?
d Hoe groot is de lading van het ijzerion als twee buitenste elektronen uit het atoom zijn ontsnapt?

---

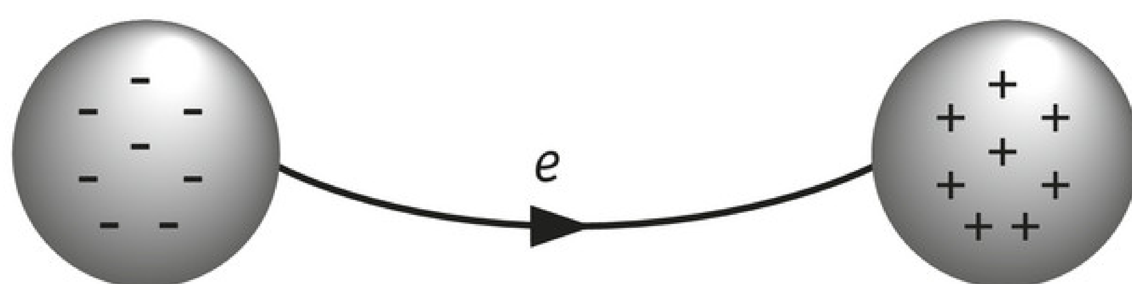
2 Stroom en spanning

In deze paragraaf leer je:
- het verschijnsel elektrische stroom uitleggen;
- de definitie van stroomsterkte kennen;
- hoe je een stroom- en spanningsmeter moet aansluiten.

Elektrische apparaten die zijn aangesloten op het elektriciteitsnet in Nederland, werken op een spanning van 230 volt. Zodra je een apparaat aanzet, bijvoorbeeld een waterkoker, gaat er een stroom door het apparaat lopen. Er bestaat een verband tussen spanning en stroomsterkte.

Richting van de stroom

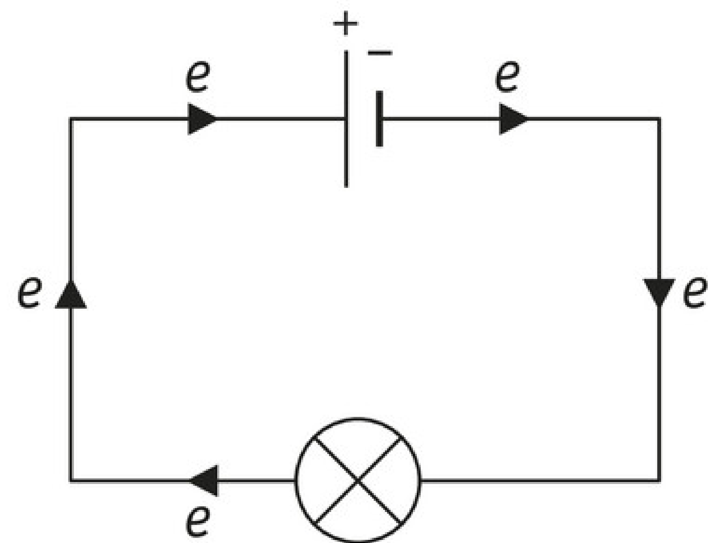
Als je een positief geladen bol via een metaaldraad verbindt met een negatief geladen bol, stromen er elektronen van de negatief geladen bol naar de positief geladen bol (figuur 6). Als beide bollen van tevoren even sterk geladen waren, stopt deze **elektronenstroom** als beide bollen neutraal zijn.



▲ **figuur 6** elektronenstroom van de negatief geladen bol naar de positief geladen bol

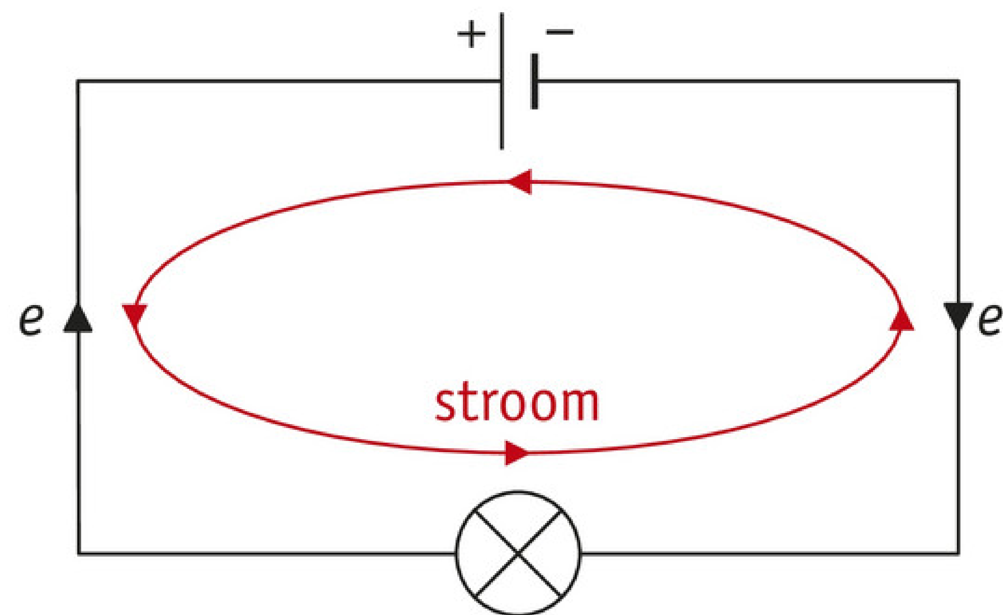
Als er een elektronenstroom loopt, is er sprake van een elektrische stroom. Elektrische stroom is eigenlijk niets anders dan lading die zich verplaatst.

In figuur 7 zie je een schakelschema van een spanningsbron waarop een lampje is aangesloten. Hier gebeurt hetzelfde als bij de bollen in figuur 6: er stromen elektronen van de minpool van de spanningsbron, via de draad, naar het lampje en dan via de tweede draad naar de pluspool. Het symbool van de spanningsbron bestaat uit twee verticale streepjes. De **minpool** is het korte dikke streepje en de **pluspool** het lange streepje.



▲ **figuur 7** elektronenstroom in een elektrische schakeling

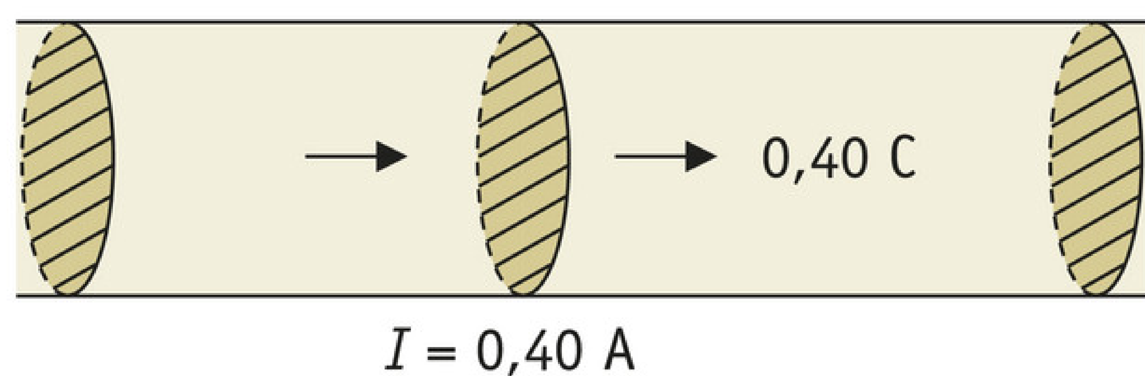
Men heeft lange tijd gedacht dat de deeltjes die zich verplaatsen, positief geladen zijn. Dat zou betekenen dat ze van de pluspool naar de minpool bewegen. De richting waarin de positieve lading zich zou bewegen, heeft men de **richting van de elektrische stroom** genoemd. Dat is niet meer veranderd toen men erachter kwam dat niet de positief maar juist de negatief geladen deeltjes zich verplaatsen. Vandaar de vreemde situatie dat je spreekt van een elektrische stroom die van de pluspool, via de aangesloten lampen en apparatuur, naar de minpool gaat, terwijl in werkelijkheid juist negatief geladen elektronen van de minpool naar de pluspool bewegen (figuur 8).



▲ **figuur 8** elektronenstroom (zwarte pijlen) en elektrische stroom (rode pijlen)

Grootte van de stroom

De grootte van de stroom, de **stroomsterkte *I***, is de hoeveelheid lading die per seconde door een dwarsdoorsnede van een draad stroomt. In figuur 9 is een draad getekend waarvan de dwarsdoorsnede is gearceerd. Als 0,40 C lading deze dwarsdoorsnede passeert in 1,0 s, is de stroomsterkte 0,40 C s^{-1}.



▲ **figuur 9** stroom door een draad

Je kunt dit met een formule uitrekenen:

$$I = \frac{Q}{t}$$

Hierin is:
- I de stroomsterkte in coulomb per seconde (C s^{-1}); deze eenheid wordt ampère (A) genoemd;
- Q de lading die passeert in coulomb (C);
- t de tijdsduur waarin die lading passeert in seconde (s).

In de formule wordt Q altijd positief ingevuld.

Voorbeeldopgave 2

Tijdens een onweersbui slaat de bliksem in op een bliksemafleider. Daardoor loopt er gedurende 0,035 s een lading van 6,0 kC door de bliksemafleider.
Bereken de stroomsterkte in de bliksemafleider.

Uitwerking
Gegevens:
$t = 0{,}035$ s
$Q = 6{,}0$ kC $= 6{,}0 \cdot 10^3$ C

Formule: $I = \frac{Q}{t}$

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{6{,}0 \cdot 10^3}{0{,}035} = 1{,}7 \cdot 10^5 \text{ A}$$

Voorbeeldopgave 3

Er loopt 3,0 min lang een stroom van 20 mA door een draad.
Bereken hoeveel elektronen in die tijd een dwarsdoorsnede van de draad zijn gepasseerd.

Uitwerking
Gegevens:
$t = 3{,}0$ min $= 3{,}0 \times 60 = 180$ s
$I = 20$ mA $= 20 \cdot 10^{-3}$ A

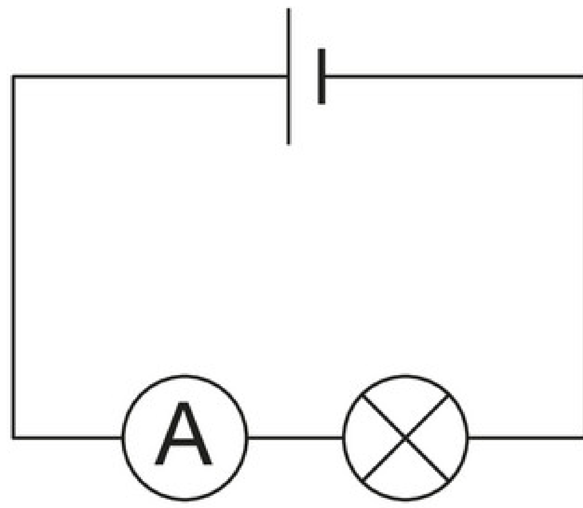
Formule: $I = \frac{Q}{t} \rightarrow Q = I \cdot t$

$Q = I \cdot t = 20 \cdot 10^{-3} \times 180 = 3{,}6$ C
De grootte van de lading van een elektron is $1{,}60 \cdot 10^{-19}$ C (Binas tabel 7A).

In die tijd zijn er dus $\frac{3{,}6}{1{,}60 \cdot 10^{-19}} = 2{,}3 \cdot 10^{19}$ elektronen een dwarsdoorsnede van de draad gepasseerd.

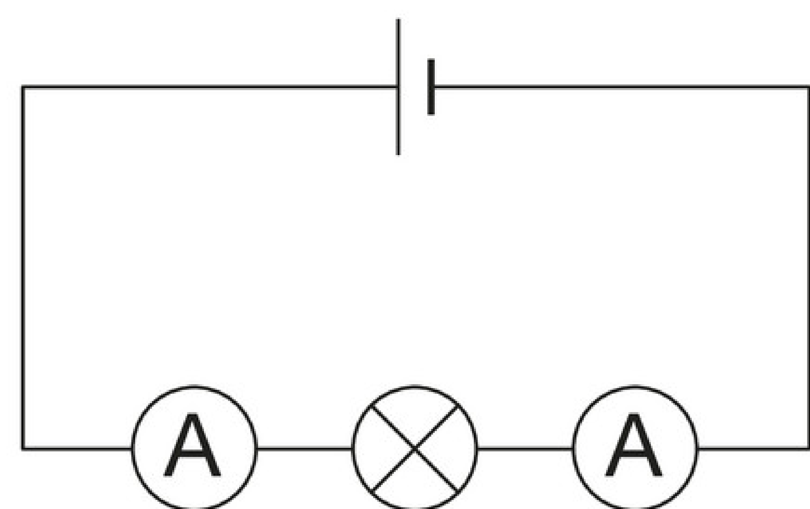
Stroomsterkte meten

De stroomsterkte wordt gemeten met een **stroommeter** die ook wel **ampèremeter** wordt genoemd. Als je de stroomsterkte door een lampje wilt meten, moet de stroom ook door de stroommeter lopen. Je moet de stroommeter dus **in serie** zetten met het lampje (figuur 10).



▲ **figuur 10** Zo meet je de stroomsterkte in de schakeling.

Het maakt daarbij niet uit of de stroommeter voor of na het lampje zit. De twee stroommeters in figuur 11 meten exact dezelfde stroomsterkte. Een lampje verbruikt namelijk geen stroom. Dat houdt in dat er geen elektronen in het lampje achterblijven. In het lampje wordt wel energie omgezet.



▲ **figuur 11** De stroomsterkte is voor en na het lampje even groot.

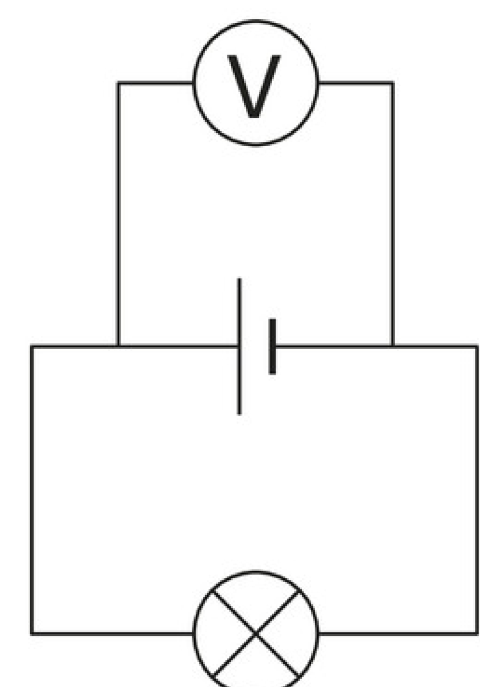
Er kan in een schakeling pas een stroom lopen als er aan de volgende voorwaarden is voldaan:
- In de schakeling moet een spanningsbron zijn opgenomen. Dat kan een batterij, accu, dynamo, zonnecel of stopcontact zijn.
- De stroomkring moet gesloten zijn. Er mag dus geen 'gat' in de stroomkring zitten.
- De stroomkring moet zijn opgebouwd uit geleidende materialen.

Spanning

Een stroom loopt niet vanzelf door de draden en de aangesloten apparatuur. De elektronen worden rondgepompt door de spanningsbron. Je mag de spanning van een spanningsbron opvatten als de druk waarmee de stroom wordt rondgepompt. Als je in een stroomkring een spanningsbron met een hogere spanning aansluit, wordt de stroomsterkte groter. Officieel is de spanning van een spanningsbron de hoeveelheid energie die één coulomb lading meekrijgt. Deze energie wordt in de schakeling afgegeven aan de lampjes of de andere aangesloten apparatuur. De grootheid **spanning** wordt aangegeven met het symbool U. De eenheid van spanning is **volt**, symbool V.

Spanning meten

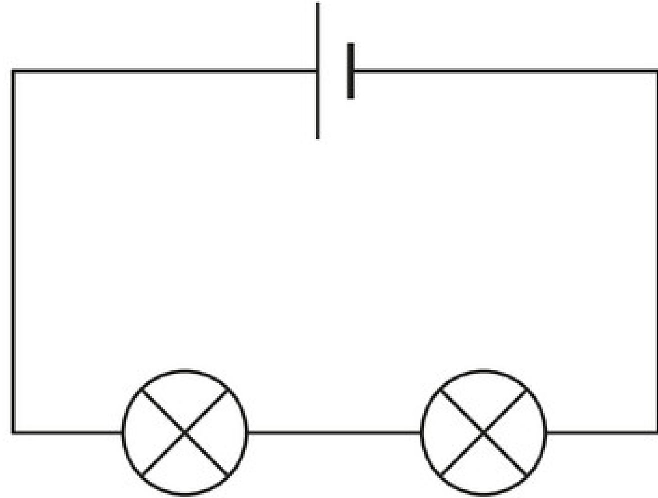
De spanning wordt gemeten met een **spanningsmeter** die ook wel **voltmeter** wordt genoemd. Als je de spanning van een spanningsbron wilt meten, moet je de spanningsmeter **parallel** schakelen aan deze spanningsbron. Zo kan de spanningsmeter het verschil van de energie voor en na het lampje bepalen. De spanningsmeter staat dus niet *in* de stroomkring (figuur 12).



▶ **figuur 12** Zo meet je de spanning van een spanningsbron.

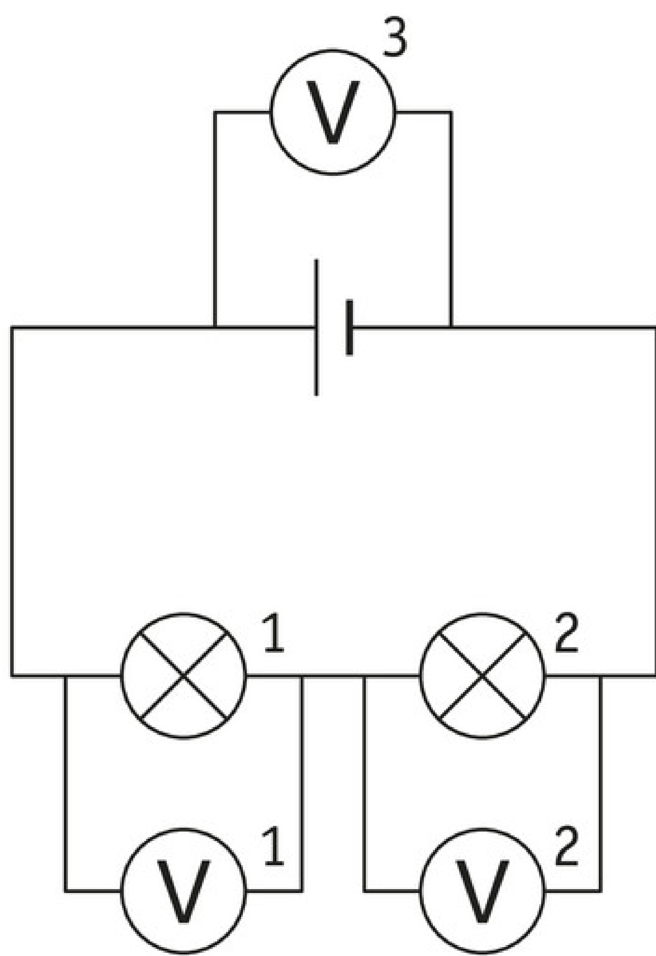
Spanning over een lampje

Stel dat je de schakeling van figuur 13 hebt gemaakt. Daarin zijn twee precies dezelfde lampjes in serie geschakeld. De spanningsbron geeft een spanning af van 6,0 V. Dat betekent dat deze spanningsbron 6,0 J energie per coulomb meegeeft aan de stroom. Deze stroom geeft in allebei de lampjes elk 3,0 J energie per coulomb af. Dat betekent dat de spanning over elk lampje 3,0 V is. Je kunt dus niet alleen de spanning van een spanningsbron meten, maar ook de spanning over een lampje.



▲ **figuur 13** twee lampjes in serie

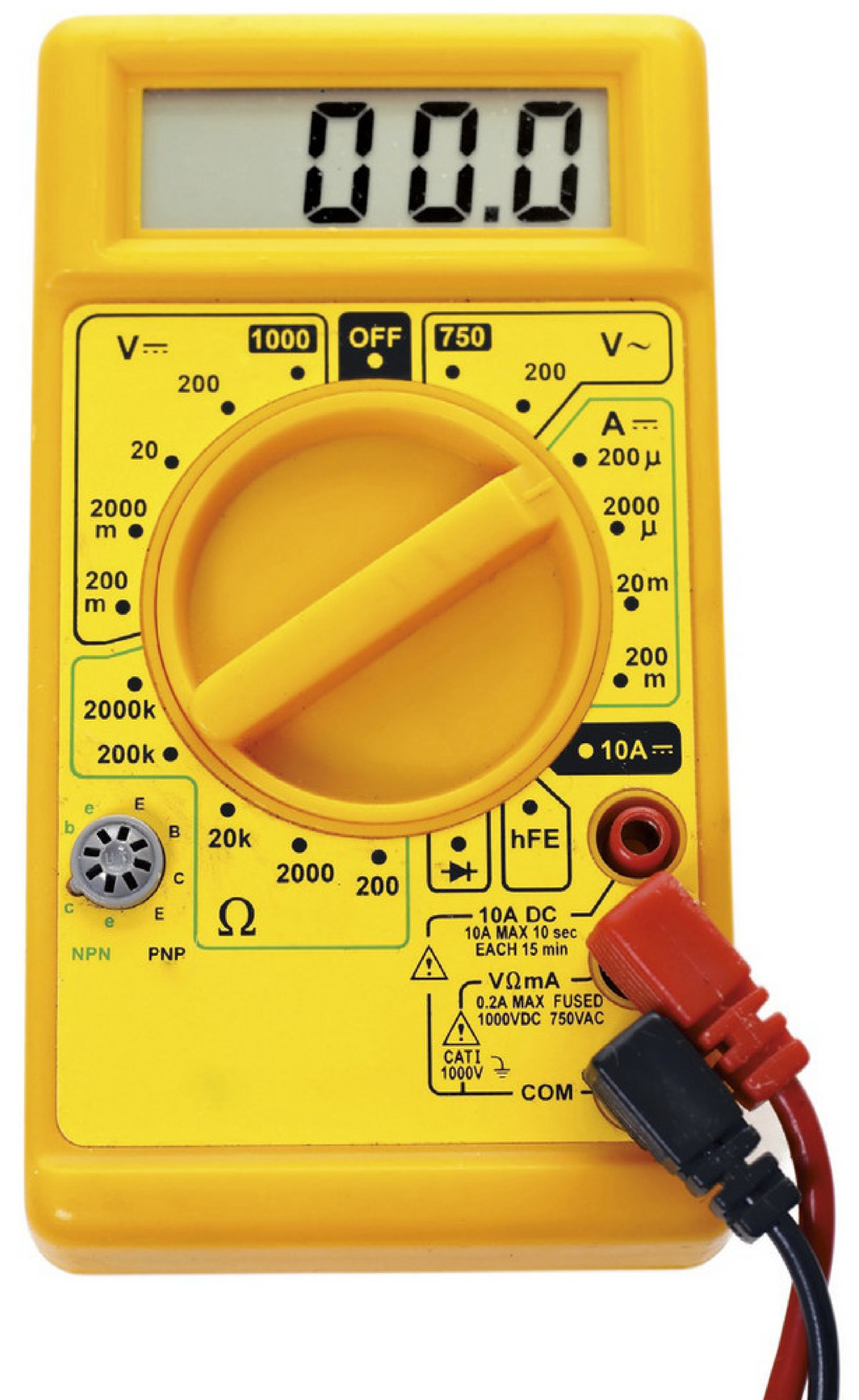
In figuur 14 zie je dat in de schakeling van figuur 13 drie spanningsmeters zijn opgenomen. Spanningsmeter 1 meet de spanning U_1 over lampje 1. Spanningsmeter 2 meet de spanning U_2 over lampje 2. Spanningsmeter 3 meet de spanning U_{tot} van de spanningsbron. Dat geeft: U_{tot} = 6,0 V, U_1 = 3,0 V en U_2 = 3,0 V.



▲ **figuur 14** spanningen meten bij twee in serie staande lampjes

Een spanningsmeter laat vrijwel geen stroom door. Als je dus een spanningsmeter parallel aan een lampje schakelt, verandert de stroomsterkte door dat lampje niet. Je zegt dan dat er *spanning staat over* een lampje en dat er *stroom loopt door* een lampje.

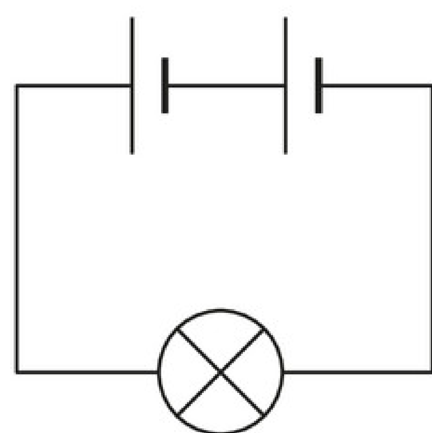
Tegenwoordig worden bijna geen stroommeters of spanningsmeters meer verkocht. Er zijn namelijk meters die zowel stroomsterkte als spanning kunnen meten. Zo'n **multimeter** kan zelfs nog meer meten (figuur 15). Op de multimeter zit een knop waarmee je kunt instellen wat je wilt meten.



▲ **figuur 15** een multimeter

Spanningsbronnen schakelen

In een zaklamp stop je twee batterijen op de juiste wijze achter elkaar. Elke batterij heeft een spanning van 1,5 V. Daardoor is de totale spanning over het lampje van de zaklamp 2 × 1,5 = 3,0 V. Je hebt nu twee spanningsbronnen in serie geschakeld. In figuur 16 kun je zien hoe je dat schematisch tekent.



▲ **figuur 16** twee batterijen in serie

Onthoud!

- De elektrische stroom loopt van de pluspool naar de minpool van de spanningsbron. In werkelijkheid bewegen er juist elektronen van de min- naar de pluspool.
- De stroomsterkte is de hoeveelheid lading die per seconde door een dwarsdoorsnede van een draad stroomt. De stroomsterkte kun je uitrekenen met de formule $I = \frac{Q}{t}$
- De stroomsterkte wordt uitgedrukt in ampère (A).
- De stroomsterkte I in een draad wordt gemeten met een stroommeter die in serie met de draad is geschakeld.
- De spanning U van een spanningsbron geeft de hoeveelheid energie aan die één coulomb lading meekrijgt. De spanning wordt uitgedrukt in volt (V).
- De spanning wordt gemeten met een spanningsmeter die parallel wordt geschakeld aan het deel van de schakeling waarover je de spanning wilt meten.

Opdrachten

7 Stroomsterkte
Beantwoord de volgende vragen.
a Leg in eigen woorden uit wat stroomsterkte is.
b Met welke formule bereken je de stroomsterkte?
c In welke eenheden moeten de grootheden in die formule worden uitgedrukt?

8 Omrekenen
Neem over en reken om.
a 20 mA = … A
b 50 kV = … V
c 140 μA = … A
d 230 V = … kV
e 0,15 A = … mA

9 Foute uitspraken
Verbeter de volgende uitspraken.
a De wasmachine staat onder stroom.
b Er gaat 12 volt door het lampje.
c Pas op, want je kunt een stroomstoot van 230 V krijgen.

10 Stromende lading

Om te onderzoeken of over een stopcontact spanning staat, gebruikt Ank een spanningzoeker. Door haar duim tegen de achterkant van de spanningzoeker te drukken, loopt er een stroom van 0,095 mA door haar heen.

a Bereken hoeveel lading in 1,0 min door Ank stroomt.

b Bereken hoeveel elektronen er in 1,0 min door Ank stromen.

11 Batterijen schakelen

Een ledspotje brandt op een spanning van 12 V. Daarvoor moeten batterijen van 1,5 V zorgen.

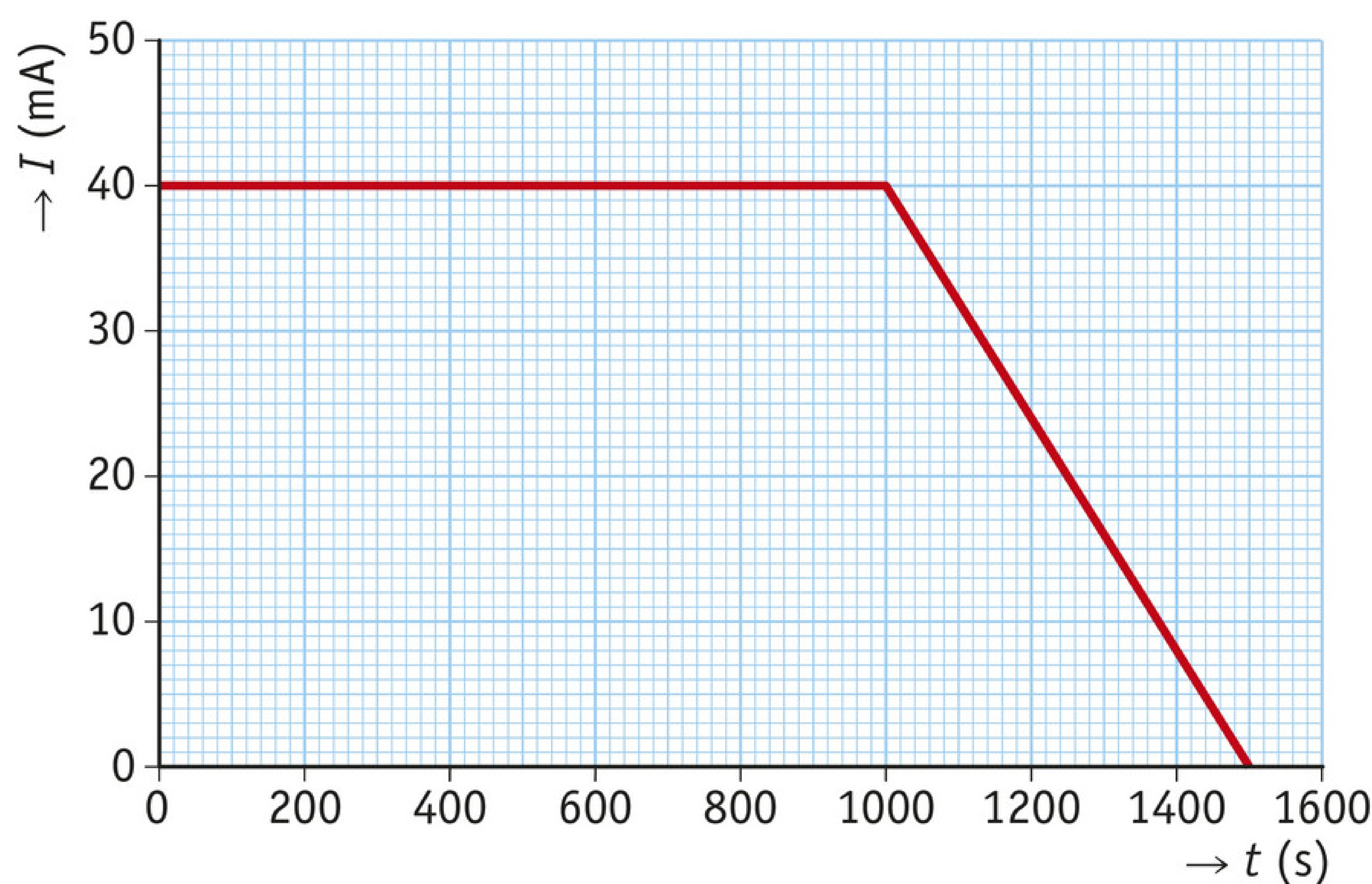
a Hoeveel van deze batterijen heb je nodig om het spotje te laten werken?

b Teken schematisch hoe deze batterijen moeten worden geschakeld.

c Leg uit hoeveel spanning het ledspotje krijgt als je een batterij per ongeluk verkeerd om in de schakeling opneemt.

12 Lading door lampje

Een batterij levert een constante stroom aan een zaklamp. Maar als de batterij bijna leeg is, wordt de stroomsterkte langzaam kleiner. In figuur 17 zie je de stroomsterkte tot de batterij helemaal leeg is.



▲ **figuur 17** het (I,t)-diagram van een batterij tot deze leeg is

a Bepaal de hoeveelheid lading die de eerste 1000 s door de lamp is gestroomd.

b Bepaal de hoeveelheid lading die de laatste 500 s door de lamp is gestroomd.

c Bepaal de gemiddelde stroomsterkte in mA in de laatste 1500 s.

+13 Oplaadbare batterijen

Op een oplaadbare batterij staat, behalve de spanning die de batterij levert, vaak ook de zogenoemde ‘capaciteit’ vermeld. Met de capaciteit wordt het product bedoeld van de stroomsterkte die van de batterij gevraagd wordt en de tijdsduur waarin de batterij deze stroom kan leveren.

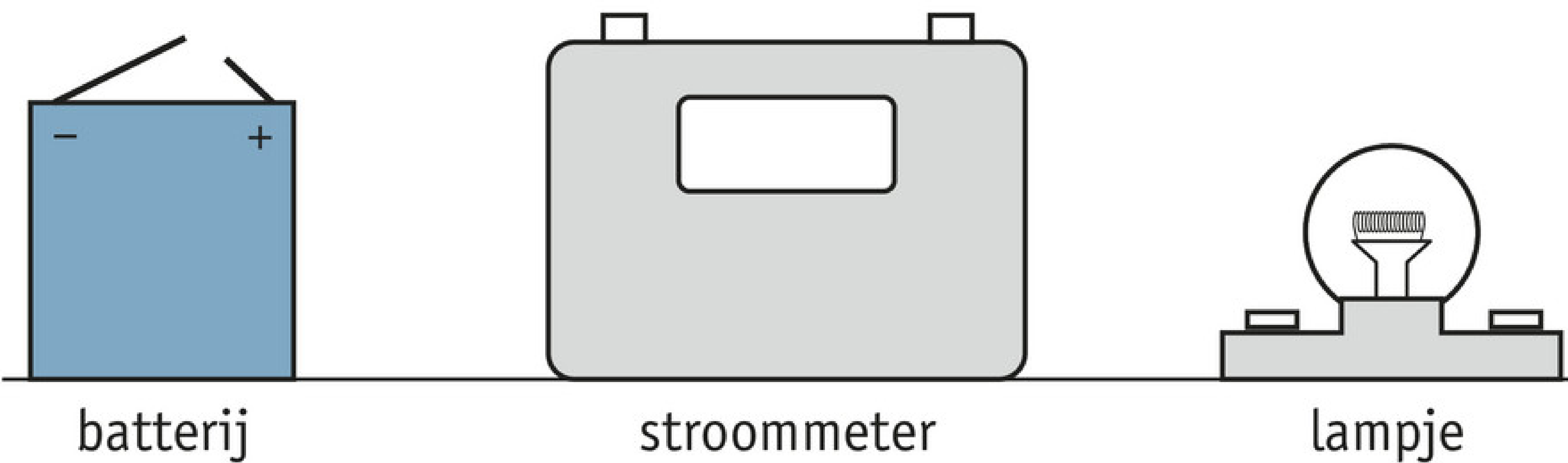
Een oplaadbare batterij heeft een capaciteit van 2,0 Ah. Dat wil zeggen dat een ‘volle’ batterij gedurende 10 uur een stroomsterkte van 0,20 A kan leveren of gedurende 5 uur een stroomsterkte van 0,40 A, enzovoort. Na het afgeven van deze 2,0 Ah is de batterij leeg.

De batterij wordt geplaatst in een zaklamp en is na 1,5 uur gebruiken leeg.

a Bereken de geleverde stroomsterkte gedurende het gebruik.

b Bereken hoeveel elektronen er in 1,5 uur door het lampje gaan.

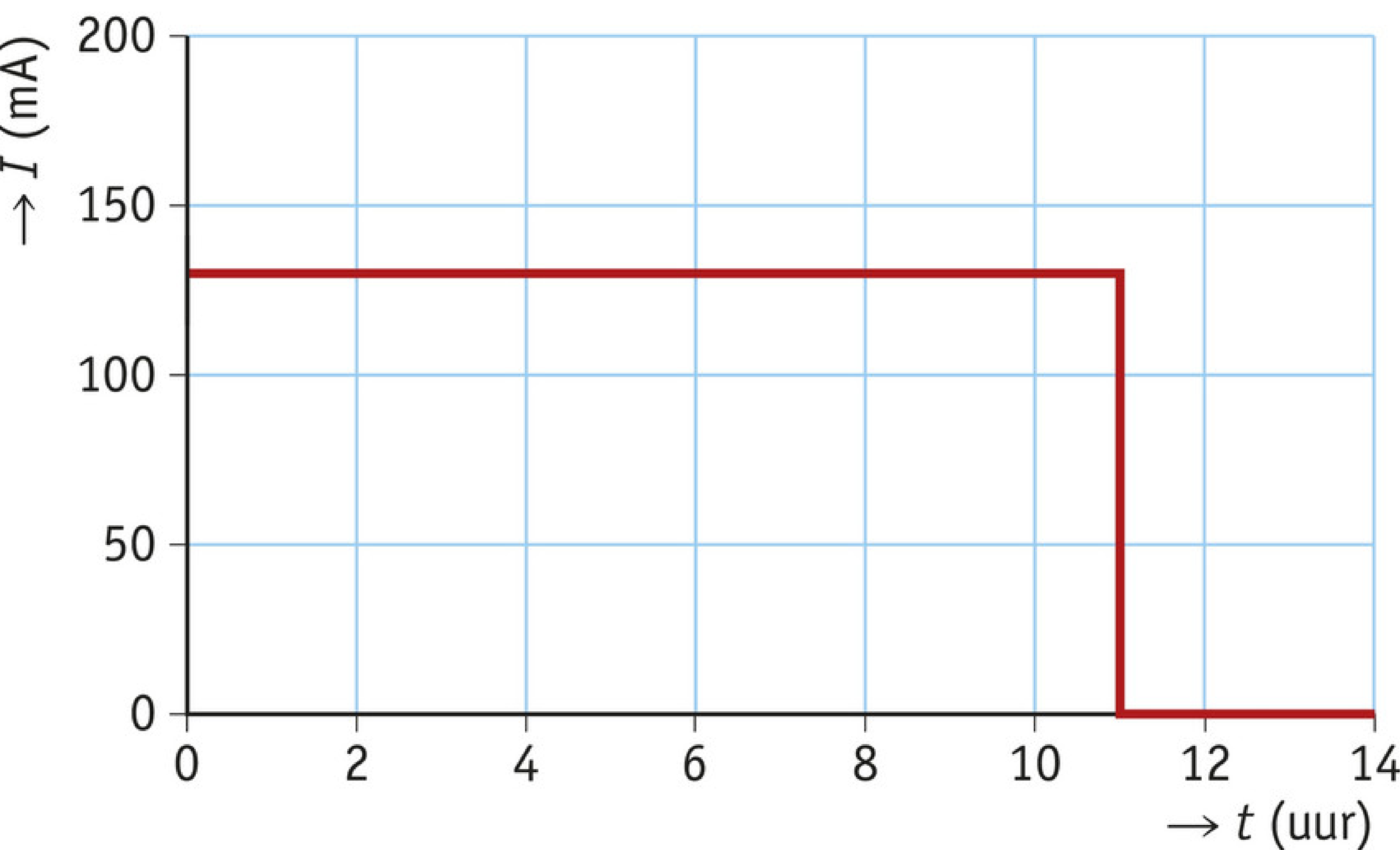
Er zijn ook oplaadbare batterijen waarop geen capaciteit is vermeld. Herman wil de capaciteit van zo'n batterij bepalen. Hij bouwt daarvoor een schakeling met een volle batterij, een stroommeter en een lampje (figuur 18).



▲ **figuur 18** batterij, stroommeter en lampje

c Neem figuur 18 in elektrotechnische symbolen over en teken alle noodzakelijke verbindingsdraden.

In figuur 19 zie je hoelang de batterij de gevraagde stroomsterkte kan leveren.



▲ **figuur 19** het (I,t)-diagram van een batterij

d Bepaal de capaciteit van deze batterij.

e Herman onderzoekt met een model (figuur 20) het aantal elektronen dat tijdens het branden van het lampje door de schakeling stroomt. Het model is nog niet af.

modelregels	startwaarden en constanten
t = t + dt dQ = I*dt Q = Q + dQ aantal = ... als t > 39600 dan stop eindals	t = 0 dt = 1,0 I = 0,130 e = 1,60*10^–19

▲ **figuur 20** het model van Herman

Vul het model op het stippellijntje aan, zodat het model het aantal elektronen dat door de schakeling stroomt zal berekenen.

f Door het toevoegen van de laatste modelregel in figuur 20 stopt het model als de batterij leeg is.
Leg de laatste modelregel uit met behulp van figuur 19.

3 Weerstand

In deze paragraaf leer je:
- de formule en de wet van Ohm toepassen;
- rekenen met weerstand.

Een draad of een apparaat laat elektrische stroom gemakkelijk of minder gemakkelijk door. Dit hangt af van de eigenschappen van het apparaat of de draad. Meestal zijn stroomdraden gemaakt van koper, met daaromheen een omhulsel van kunststof. Het koper laat stroom gemakkelijk door, maar de kunststof laat geen stroom door. Kunststof is een isolator.

De grootheid weerstand

Een voorwerp waar een stroom doorheen gaat, noem je een **elektrische component**. Dat kan een stuk draad zijn, een lamp, een diode, een transistor, enzovoort. De stroomsterkte is niet alleen afhankelijk van de spanning. De bewegende geladen deeltjes, de elektronen, worden bij verplaatsing in de vaste stof min of meer gehinderd door de bouw van de stof, eventuele verontreinigingen in de stof en de beweging van de atomen ten gevolge van de temperatuur van de stof.
De grootheid **weerstand** geeft aan hoeveel hinder de stroom ondervindt. Stoffen met grote weerstand noem je **isolatoren**; stoffen met kleine weerstand heten **geleiders**. Weerstand wordt aangeduid met het symbool R. Die letter komt van het Engelse woord voor weerstand: *resistance*.
De weerstand is de spanning die nodig is om een stroom van één ampère door de component te laten lopen. Daarmee is het verband tussen spanning U, stroomsterkte I en weerstand R vastgelegd:

$$R = \frac{U}{I}$$

Hierin is:
- R de weerstand in volt per ampère (V A^{-1}); deze eenheid wordt ohm (Ω) genoemd;
- U de spanning in volt (V);
- I de stroomsterkte in ampère (A).

Dit verband wordt de **formule van Ohm** genoemd. Je kunt de formule van Ohm ook schrijven als $U = I \cdot R$.

Voorbeeldopgave 4

Een lamp brandt op een spanning van 230 V. De stroomsterkte door de lamp is 35 mA.
Bereken de weerstand van de lamp bij een spanning van 230 V.

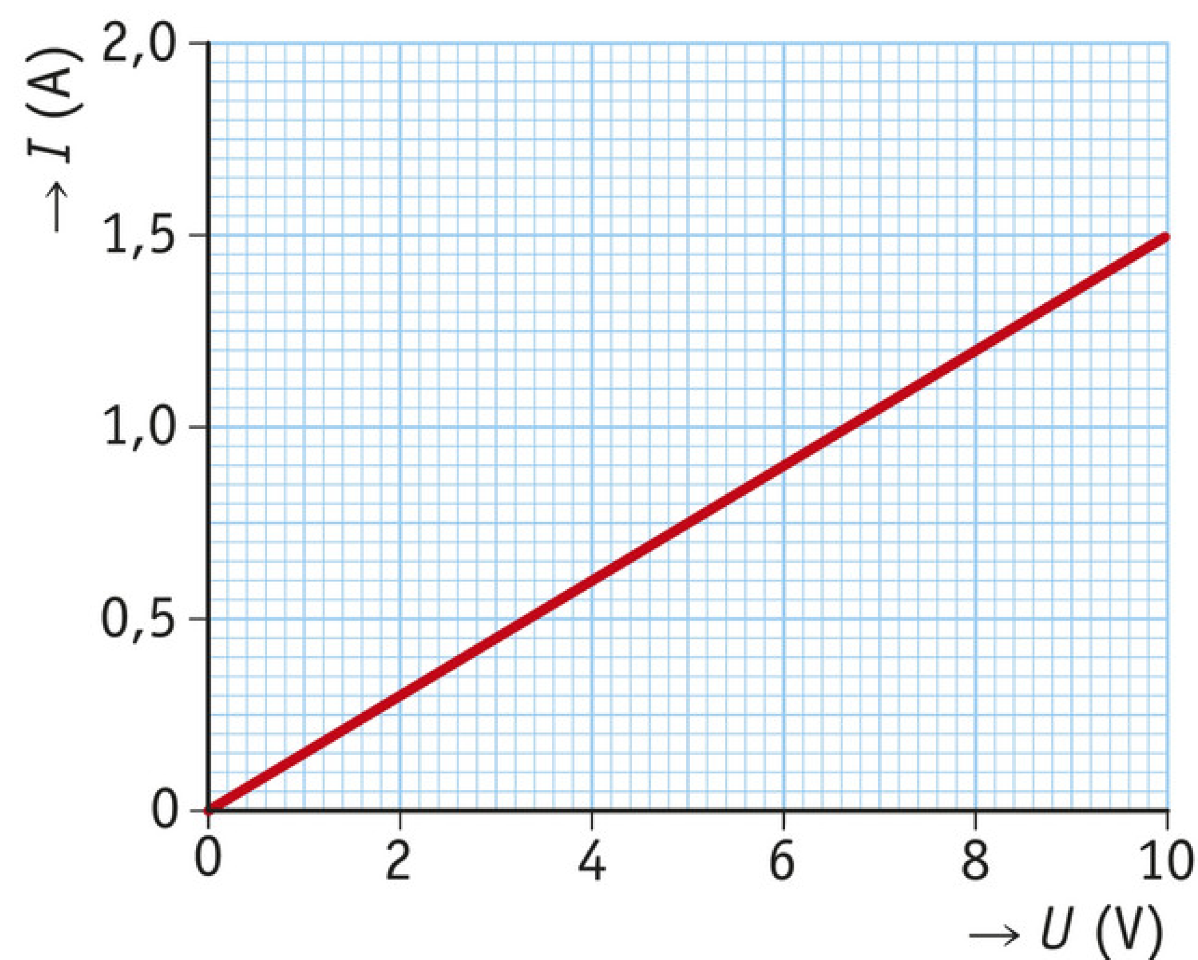
Uitwerking
Gegevens:
$U = 230$ V
$I = 35$ mA $= 0{,}035$ A

Formule: $R = \frac{U}{I}$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{230}{0{,}035} = 6{,}6 \cdot 10^3\ \Omega$$

Wet van Ohm

Als je de spanning over een component verandert, zal (meestal) ook de stroomsterkte veranderen. Het verband tussen spanning en stroomsterkte kan zichtbaar worden gemaakt in een (I,U)-diagram (figuur 21).



▲ **figuur 21** het (I,U)-diagram van een stuk constantaandraad

In figuur 21 zie je een rechte lijn door de oorsprong. Dat betekent dat spanning en stroomsterkte recht evenredig zijn met elkaar. Recht evenredigheid betekent dat:

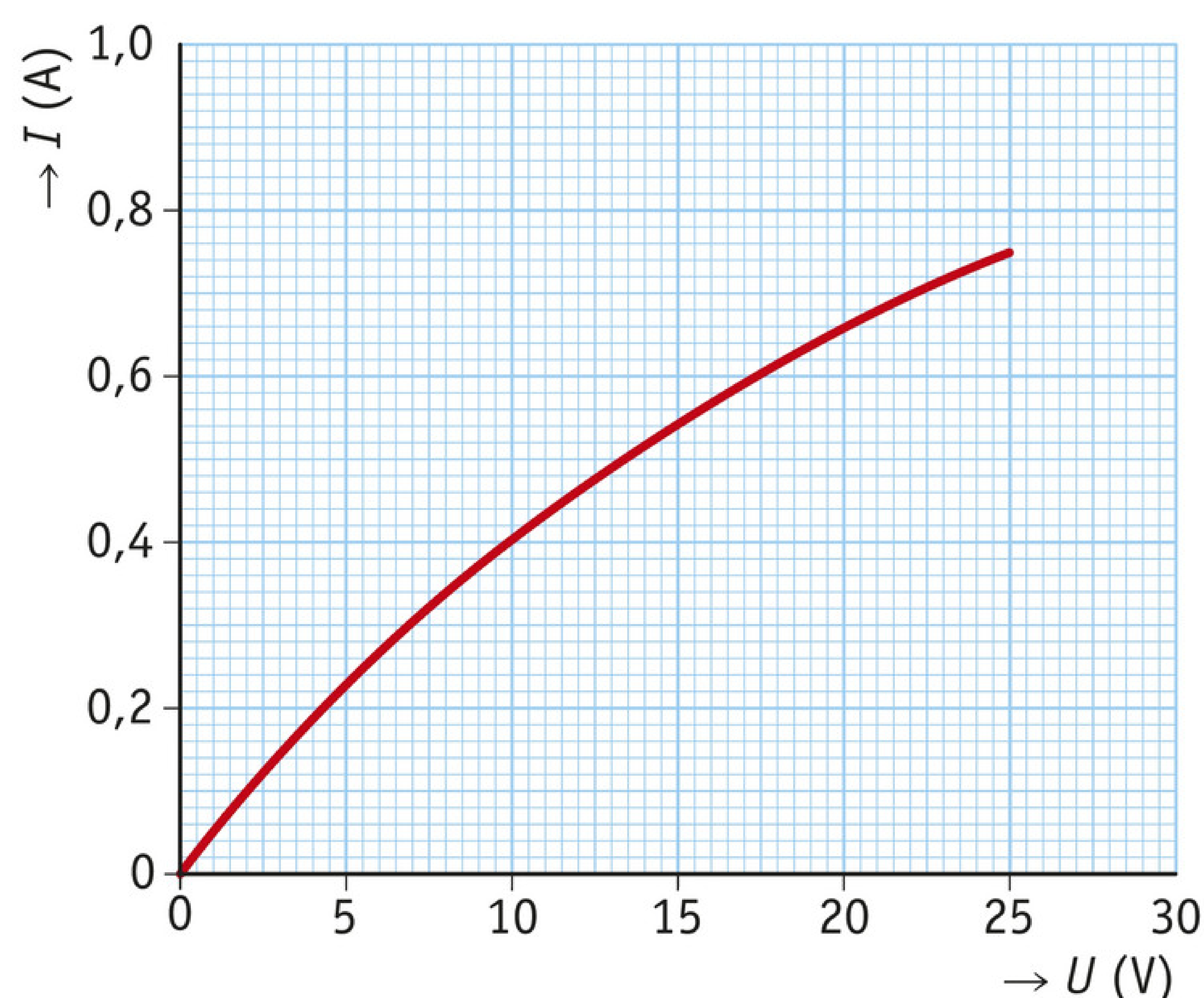
- de grafiek een rechte lijn door de oorsprong is;
- als de ene grootheid $n\times$ zo groot wordt, de andere grootheid ook $n\times$ zo groot wordt;
- als je beide grootheden op elkaar deelt, er steeds dezelfde waarde uit komt.

Een diagram dat bij een bepaald soort component hoort, wordt een **karakteristiek** genoemd. Figuur 21 is dus de (I,U)-karakteristiek van een constantaandraad.
Een component waarbij de spanning recht evenredig is met de stroomsterkte, wordt een **ohmse weerstand** genoemd. De helling of steilheid van de grafiek blijft gelijk, dus de weerstand is

constant. Als je de formule van Ohm toepast, is de uitkomst bij elke spanning gelijk:

$R = \frac{U}{I}$ heeft steeds dezelfde uitkomst.

Als dat het geval is, noem je de formule van Ohm: de **wet van Ohm**.
Bij een stuk ijzerdraad ziet het verband tussen spanning en stroomsterkte eruit zoals in figuur 22. Je ziet dat de helling of steilheid van de grafiek nu niet constant is. De weerstand verandert bij toenemende spanning. Dit is dus geen ohmse weerstand.



▲ **figuur 22** het (I,U)-diagram van een stuk ijzerdraad

Voorbeeldopgave 5

Gebruik figuur 22.

a Bepaal de weerstand bij 10 V, 20 V en 25 V.
b Waaruit blijkt dat je niet met een ohmse weerstand te maken hebt?
c Bepaal de grootte van de weerstand bij 0 V.

Uitwerking

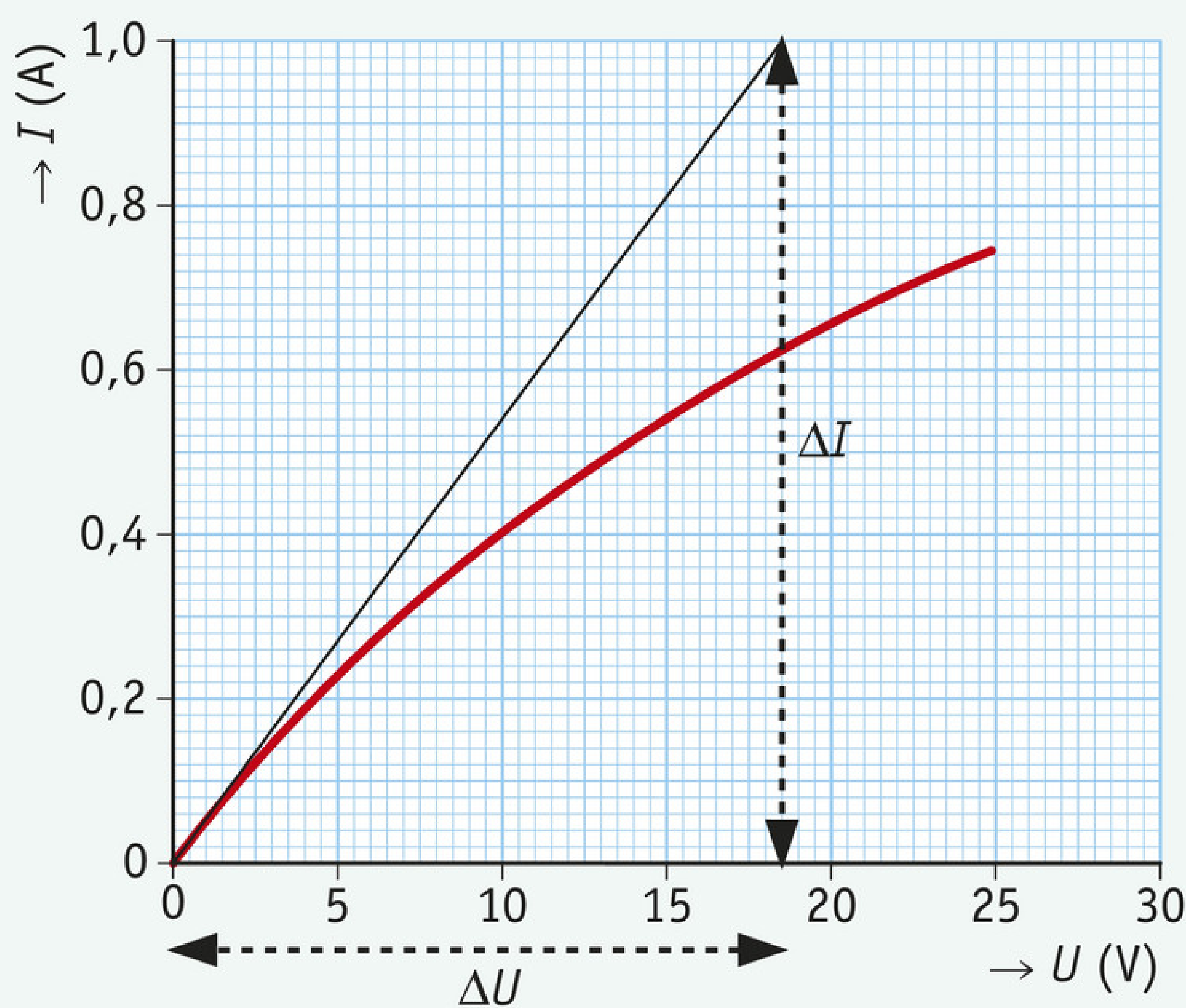
a Bij 10 V: $R_{10\text{ V}} = \frac{U}{I} = \frac{10}{0,40} = 25\ \Omega$

Bij 20 V: $R_{20\text{ V}} = \frac{U}{I} = \frac{20}{0,66} = 30\ \Omega$

Bij 25 V: $R_{25\text{ V}} = \frac{U}{I} = \frac{25}{0,75} = 33\ \Omega$

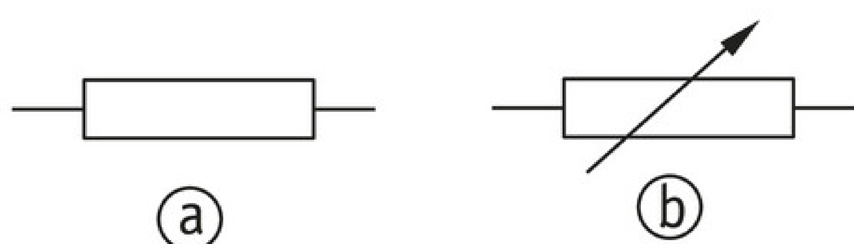
b Bij toenemende spanning (en stroomsterkte) neemt de weerstand toe. Daarom kan het geen ohmse weerstand zijn. Je ziet het ook aan de grafiek. Het is geen rechte lijn door de oorsprong.

c Als je $R = \frac{U}{I}$ invult voor de spanning 0 V, krijg je $\frac{0}{0}$, en dat kan niet. Je moet dan heel dicht bij 0 kijken. Dat is lastig. Je kunt dit oplossen door te kijken naar de helling of steilheid van de raaklijn bij $U = 0$ V (figuur 23). Dan geldt: $R = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{18,5}{1,0} = 19\ \Omega$ (denk aan significantie).



▲ **figuur 23** bepaling van de weerstand bij $U = 0$ V

In een schema van een elektrische schakeling wordt een weerstand met een elektrotechnisch symbool weergegeven (figuur 24a). Als het een instelbare weerstand is, dus variabel, is het symbool zoals in figuur 24b weergegeven.



▲ **figuur 24** symbolen voor weerstand (a) en variabele weerstand (b)

▶ **EXPERIMENT 1** De (I,U)-karakteristiek van een weerstand en een gloeilampje

Onthoud!

- Weerstand R is een grootheid die aangeeft in welke mate de stroom wordt gehinderd.
- De grootte van de weerstand bereken je met de *formule* van Ohm: $R = \frac{U}{I}$
- De eenheid van weerstand is Ω (ohm), waarbij $1\ \Omega = \frac{1\ \text{V}}{1\ \text{A}}$
- Een weerstand heet ohms als het verband tussen U en I recht evenredig is. Bij een ohmse weerstand is $\frac{U}{I} = R =$ constant. Dit is de *wet* van Ohm.

Opdrachten

14 Weerstand
Beantwoord de volgende vragen.
a Wat is het verschil tussen een ohmse en een niet-ohmse weerstand?
b Geef de formule van Ohm. Geef ook aan in welke eenheden de grootheden in deze formule moeten worden uitgedrukt.
c Leg het verschil uit tussen de formule van Ohm en de wet van Ohm.

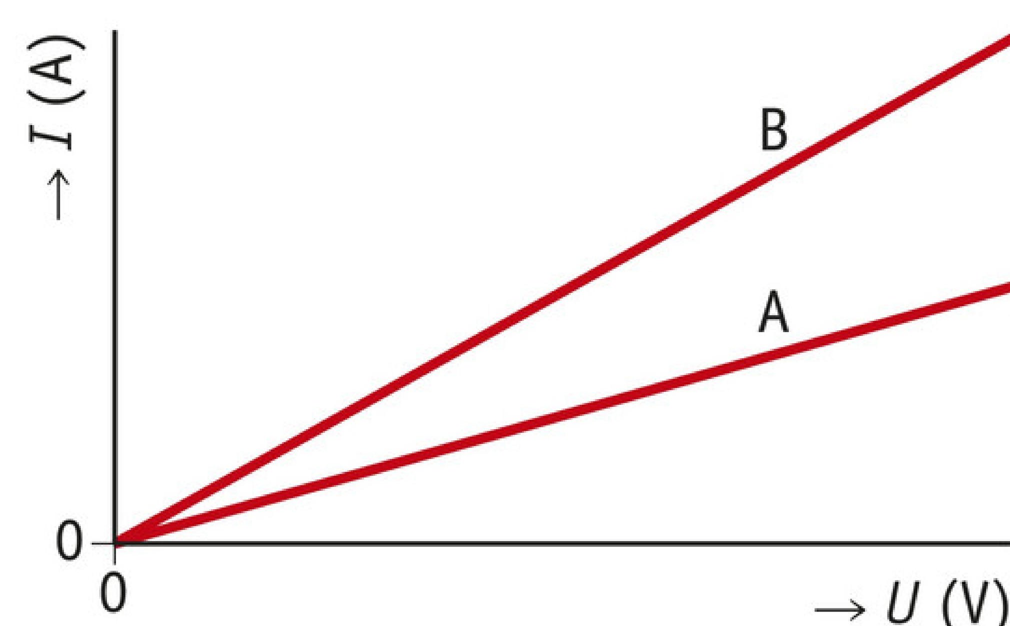
15 Weerstand led
Bereken de grootte van de weerstand van een led als over de led een spanning staat van 1,9 V en de stroom door de led 20 mA bedraagt.

16 Ohmse weerstand [1]
Door een ohmse weerstand loopt bij een spanning van 12 V een stroomsterkte van 0,84 A. Bereken de spanning die nodig is om een stroomsterkte van 1,5 A door de weerstand te laten lopen.

17 Lampje
Een lampje heeft bij een stroomsterkte van 300 mA een weerstand van 12 Ω.
Bereken de spanning die over het lampje staat.

18 Schakeling
Emiel sluit een weerstand aan op een spanningsbron van 4,5 V. Hij meet de spanning over de weerstand en de stroomsterkte door de weerstand. De stroomsterkte blijkt 1,2 A te zijn.
a Teken het schema van deze schakeling.
b Bereken de weerstandswaarde van deze weerstand.

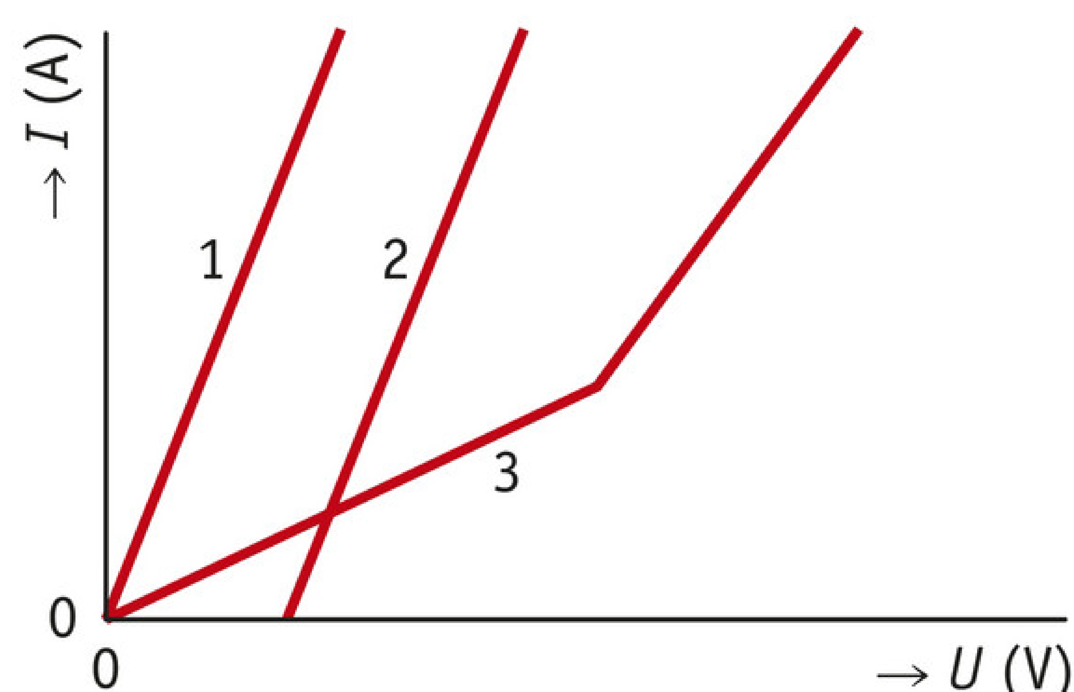
19 Ohmse weerstand [2]
Van twee ohmse weerstanden is in figuur 25 het (I,U)-diagram afgebeeld.



▲ **figuur 25** het (I,U)-diagram van twee ohmse weerstanden

a Leg uit welke component, A of B, de grootste weerstand heeft.
b Schets in een diagram het verband tussen weerstand en spanning, het (R,U)-diagram, van beide componenten.

20 (I,U)-grafieken
In het diagram van figuur 26 zijn van drie elektrische componenten de (I,U)-grafieken geschetst.

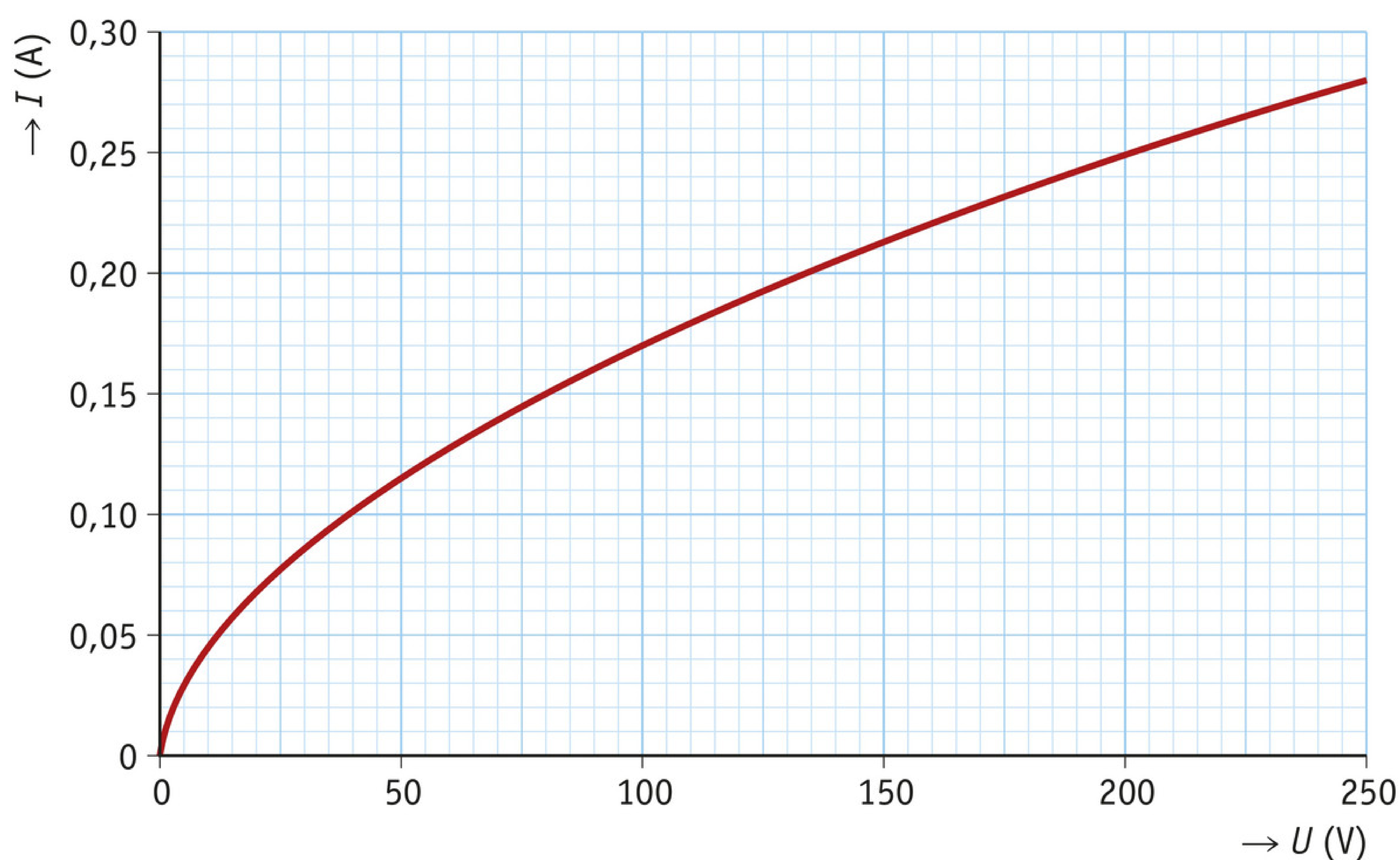


▲ **figuur 26** het (I,U)-diagram van drie componenten

Leg uit welke van deze drie componenten ohmse weerstanden zijn.

21 Gloeidraad
Gilles wil tijdens een practicum bij kamertemperatuur de weerstand van een gloeidraad bepalen. Hiertoe maakt hij een schakeling die bestaat uit een spanningsbron, een stroommeter, een spanningsmeter en de gloeidraad.
a Teken het schakelschema dat nodig is om de grootte van de weerstand te bepalen.

In figuur 27 is de (I,U)-karakteristiek van de gloeidraad getekend.



▲ **figuur 27** het (I,U)-diagram van de gloeidraad

b Vul in *kleiner*, *gelijk* of *groter*.
De weerstand van de gloeidraad wordt … als de spanning over de gloeidraad toeneemt.

c Bepaal de weerstand van de gloeidraad wanneer de spanning over de gloeidraad 230 V bedraagt.

Gilles wil de weerstand van de gloeidraad bij kamertemperatuur bepalen.

d Waarom kan Gilles dit beter bij een spanning van 0 V doen dan bij een spanning van bijvoorbeeld 10 V? Licht je antwoord toe.

e Bepaal met behulp van figuur 27 de weerstand van de gloeidraad bij kamertemperatuur.

22 Levensgevaarlijk
Een kleine elektrische stroom door je lichaam leidt tot spiersamentrekking. Toenemende stroomsterkte leidt achtereenvolgens tot pijn, bewusteloosheid, hartproblemen en zelfs de dood. Daarbij zijn ook de tijdsduur van de stroom en de weg van de stroom door je lichaam van belang.
Als je huid vochtig is, kan de totale weerstand die de stroom bij doorgang door jouw lichaam ondervindt kleiner zijn dan 1,0 kΩ. Bij een stroomstoot van 100 mA die door je hartstreek loopt en die langer duurt dan een paar seconden, kun je bewusteloos raken.
Bereken vanaf welke spanning je dan ten gevolge van een stroomsterkte van 100 mA bewusteloos kunt raken (ga ervan uit dat de weerstand van je lichaam 1,0 kΩ is).

4 De weerstand van een draad

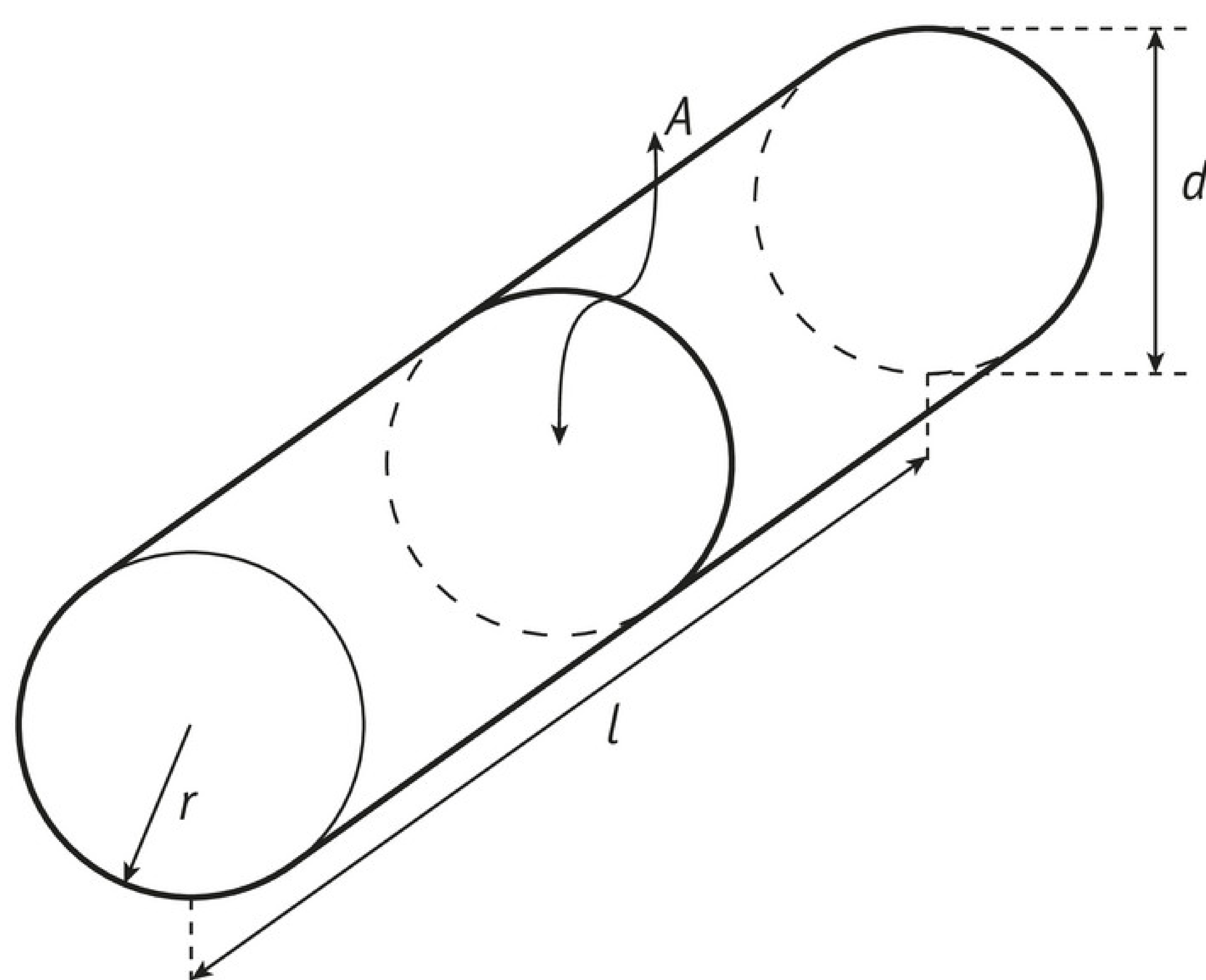
In deze paragraaf leer je:
- de definitie van soortelijke weerstand kennen;
- van welke factoren de weerstand van een draad afhangt.

In de vorige paragraaf heb je gelezen dat weerstand de mate is waarin stroomsterkte wordt gehinderd. Hoe groter de waarde van de weerstand is, des te groter is deze hinder. De grootte van de weerstand wordt door verschillende factoren bepaald.

Weerstand van een metaaldraad

De weerstand van een metaaldraad hangt van drie grootheden af: de lengte van de draad, de doorsnede van de draad en het materiaal waarvan de draad is gemaakt. De temperatuur van de draad heeft ook invloed op de waarde van de weerstand; dit wordt in de volgende paragraaf besproken.
Als de **lengte *l*** van de draad groter wordt, neemt de weerstand toe. De draad geleidt de stroom moeilijker. Dit kun je vergelijken met een lang rietje waardoor je frisdrank probeert te drinken. Hoe langer het rietje, hoe moeilijker het gaat. Bij een draad geldt dus dat de weerstand recht evenredig is met de lengte.
De weerstand van de draad is ook afhankelijk van de **doorsnede *A*** van de draad. Hoe dikker de draad, hoe gemakkelijker de draad de stroom geleidt en des te kleiner de weerstand. Dit kun je vergelijken met een dik rietje, of met meerdere rietjes waardoor je frisdrank drinkt: dat gaat gemakkelijker. De doorsnede is de oppervlakte waar je tegenaan kijkt als je de draad doorsnijdt. Doordat een draad de vorm van een cilinder heeft, is de doorsnede ervan meestal de oppervlakte van een cirkel. De doorsnede van een draad kun je berekenen als je de straal r of de diameter d van een draad weet: $A = \pi \cdot r^2$ (Binas tabel 36) of $A = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2$. De doorsnede wordt uitgedrukt in vierkante meter. De diameter van een draad is de dikte van de draad. De diameter van de draad druk je net als de straal uit in meter. Let er dus op dat je bij het maken van opdrachten de doorsnede A niet verwisselt met de diameter d.

In figuur 28 zijn alle genoemde grootheden weergegeven.



▲ **figuur 28** een cilinder met lengte (*l*), straal (*r*), dikte (*d*) en doorsnede (*A*)

De weerstand van een metaaldraad is omgekeerd evenredig met de doorsnede van de draad. Dit betekent dat een 2× zo grote doorsnede een 2× zo kleine weerstand geeft.

Voorbeeldopgave 6

Een koperdraad heeft een doorsnede van 20 mm^2.
Bereken de diameter van de draad.

Uitwerking
De oppervlakte van doorsnede A van de draad kun je berekenen met de formule $A = \pi \cdot r^2$.
Hierbij staat r voor de straal van de cirkelvormige doorsnede.

$$r^2 = \frac{A}{\pi} = \frac{20}{\pi} = 6{,}37 \rightarrow r = \sqrt{6{,}37} = 2{,}5 \text{ mm}$$

$$d = 2 \cdot r = 2 \times 2{,}5 = 5{,}0 \text{ mm}$$

Soortelijke weerstand

Het ene metaal laat de stroom gemakkelijker door dan het andere metaal. De mate waarin het ene metaal beter geleidt dan het andere, wordt bepaald door de **soortelijke weerstand** ρ. De soortelijke weerstand van een draad is de weerstand van een draad met een lengte van één meter en een doorsnede van één vierkante meter. De soortelijke weerstand van veelgebruikte metalen kun je vinden in Binas tabel 8 en 9. De soortelijke weerstand is afhankelijk van de temperatuur. Je mag bij het maken van opdrachten de soortelijke weerstanden uit Binas gebruiken (die eigenlijk alleen bij 293 K gelden). Let bij het aflezen in Binas op dat je de soortelijke weerstand kiest en niet de dichtheid, en dat je met de juiste macht van 10 vermenigvuldigt. De juiste macht van 10 staat boven de kolom.
De weerstand van een draad wordt gegeven door:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A}$$

Hierin is:
- R de weerstand van de draad in ohm (Ω);
- ρ de soortelijke weerstand in ohm meter (Ω m);
- l de lengte van de draad in meter (m);
- A de doorsnede van de draad in vierkante meter (m^2).

$$[\rho] = \frac{[R]\cdot[A]}{[l]} = \frac{\Omega\cdot m^2}{m} = \Omega \text{ m}$$

Als je het moeilijk vindt om l, A en ρ uit te rekenen met deze formule, kun je de volgende formule onthouden: $\rho \cdot l = R \cdot A$

Voorbeeldopgave 7

Een zilverdraad met een dikte van 0,10 mm heeft een weerstand van 1,0 kΩ.
Bereken de lengte van de zilverdraad.

Uitwerking
Gegevens:
$\rho = 16 \cdot 10^{-9}$ Ω m (Binas tabel 8)
$R = 1{,}0$ kΩ $= 1{,}0 \cdot 10^3$ Ω
$d = 0{,}10$ mm $\rightarrow r = ½ \cdot d = ½ \times 0{,}10 = 0{,}050$ mm $= 5{,}0 \cdot 10^{-5}$ m

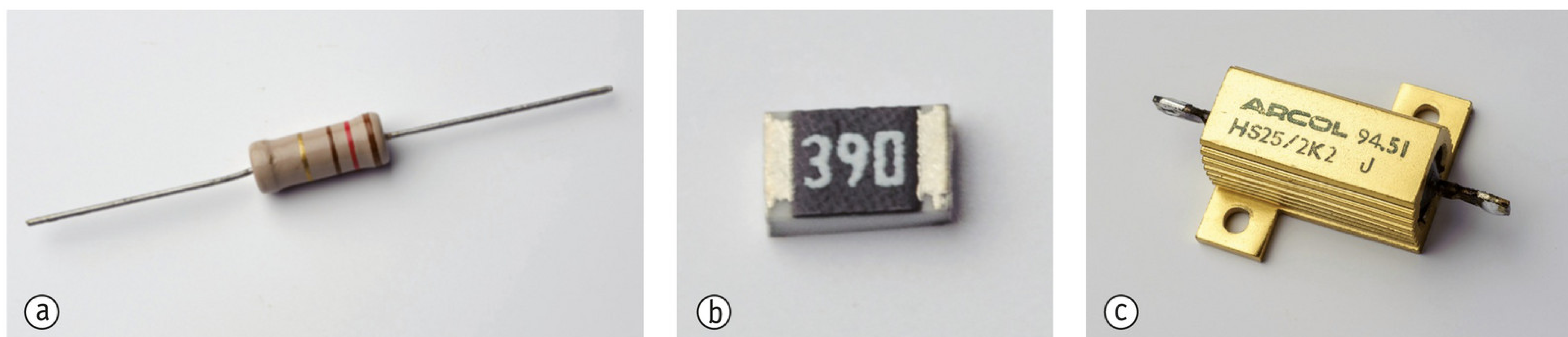
Formule: $A = \pi \cdot r^2$ en $R = \frac{\rho \cdot l}{A} \rightarrow l = \frac{R \cdot A}{\rho}$

$A = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot (5{,}0 \cdot 10^{-5})^2 = 7{,}9 \cdot 10^{-9}\ \text{m}^2$

$l = \frac{1{,}0 \cdot 10^3 \times 7{,}9 \cdot 10^{-9}}{16 \cdot 10^{-9}} = 4{,}9 \cdot 10^2\ \text{m}$

Het woord weerstand

Het woord weerstand wordt in de natuurkunde op twee manieren gebruikt. In veel gevallen wordt met de weerstand de weerstandswaarde in ohm bedoeld, maar het woord weerstand wordt ook gebruikt om de elektrische component aan te duiden. In dit geval is een weerstand meestal een stukje metaaldraad waar een behuizing omheen zit. Een weerstand kun je in verschillende vormen krijgen. Een aantal vormen zie je in figuur 29.



▲ **figuur 29** verschillende soorten weerstanden: (a) draadweerstand; (b) *small mounted device* (SMD); (c) vermogensweerstand met koellichaam

Onthoud!

- De weerstand van een draad is afhankelijk van de lengte, de doorsnede en het soort metaal dat is gebruikt.
- Soortelijke weerstand is een maat voor de weerstand die een bepaald soort materiaal vormt voor de elektrische stroom.
- De weerstand van een draad is recht evenredig met de lengte en de soortelijke weerstand.
- De weerstand van een draad is omgekeerd evenredig met de doorsnede.
- De weerstand van een draad kun je uitrekenen met de formule $R = \frac{\rho \cdot l}{A}$

Opdrachten

23 Formule omschrijven

Herschrijf de formule van de weerstand van een draad in de volgende vormen.

a $l = \ldots$
b $A = \ldots$
c $\rho = \ldots$

24 Ontbrekende waarden
In tabel 2 is een aantal gegevens ingevuld.
Bereken de ontbrekende waarden. Schrijf de berekeningen op.

▼ **tabel 2** gegevens van een aantal draden

	weerstand van de draad	metaal	lengte *l* van de draad	doorsnede *A* van de draad	diameter *d* van de draad
a	10 Ω	koper	10 m	… m^2	… mm
b	2,7 kΩ	platina	… m	2,0 mm^2	… mm
c	350 Ω	constantaan	… m	… m^2	40 μm
d	… Ω	nichroom	20 cm	0,018 m^2	… m
e	… Ω	ijzer	6,0 km	… m^2	8,0 cm
f	18 Ω	…	12 cm	… m^2	0,043 mm

25 Draad
Beredeneer wat er met de weerstand van een draad gebeurt als deze:
a 2× zo lang wordt.
b 2× zo dik wordt.
c een 2× zo grote doorsnede krijgt.

26 Aansluitsnoer
Tijdens een practicum gebruik je aansluitsnoeren. De aansluitsnoeren zijn gemaakt van koperdraad met een dikte van 2,0 mm en een lengte van 65 cm.
a Bereken de weerstand van één aansluitsnoer.
b Leg uit waarom je de weerstand van een aansluitsnoer mag verwaarlozen.

27 Verlengsnoer
In een verlengsnoer van 30 m zitten twee koperen aders. Elke ader heeft een cirkelvormige doorsnede van 2,5 mm^2.
a Bereken de dikte van de koperdraad.
b Bereken de weerstand van beide aders.

Met het verlengsnoer wordt een straalkachel van 26 Ω op het stopcontact aangesloten (U = 230 V).
c Teken het elektrisch schakelschema.
d Leg uit of je de weerstand van het verlengsnoer mag verwaarlozen.
e Je kunt de weerstand van het verlengsnoer verkleinen door een metaal met een andere soortelijke weerstand te kiezen.
Leg uit of de soortelijke weerstand van het metaal dan groter of kleiner moet zijn.

28 Constantaandraad
Constantaan wordt gebruikt in apparaten waarbij weerstandswaarden zo constant mogelijk moeten zijn.
Een constantaandraad van 10 m (R = 17 Ω) is verbonden met de polen van een batterij van 12 V.
a Bereken de stroomsterkte door de draad.

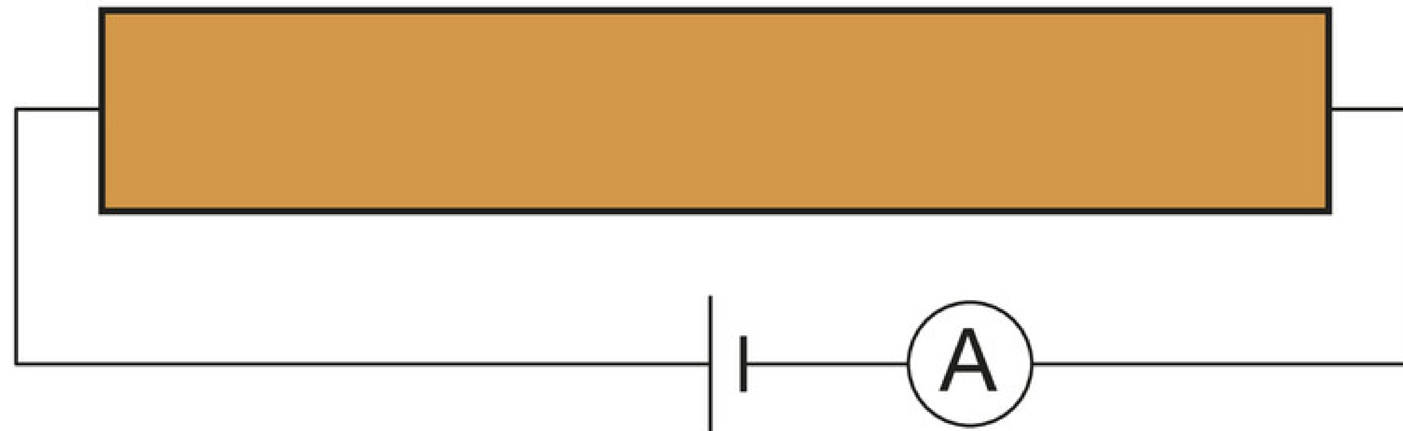
De constantaandraad wordt in de lengte gehalveerd. Een van beide draden wordt nu opnieuw verbonden met de batterij van 12 V.
b Bereken de stroomsterkte door de draad.
c Welk verband is er tussen de stroomsterkte door de draad en de lengte van de draad?

De twee gehalveerde draden worden dubbel genomen. Hierdoor wordt de totale oppervlakte waar de stroom doorheen gaat verdubbeld. De lengte neemt dus niet toe. Ook deze dubbele draad wordt aangesloten op de polen van de batterij van 12 V.

d Bereken de stroomsterkte door de constantaandraad.
e Welk verband is er tussen de stroomsterkte door de draad en de doorsnede?
f Welk verband is er tussen de stroomsterkte door de draad en de dikte?

29 Koperen strip

Een platte koperen strip met een dikte van 0,10 mm wordt verbonden met een spanningsbron en een stroommeter. De strip is in figuur 30 op ware grootte afgebeeld. Daarin is ook te zien hoe de spanningsbron is verbonden met de strip.



▲ **figuur 30** een koperen strip verbonden met een stroommeter en een spanningsbron

a Bepaal de grootte van de contactoppervlakte van de strip.
b Bepaal de weerstand van de strip.
c De stroommeter geeft 10 mA aan.
Bepaal de spanning van de spanningsbron.
d Als de strip uitrekt, wordt de weerstand van de koperen strip groter.
Geef hiervoor twee redenen.

30 Veiligheidsschoenen

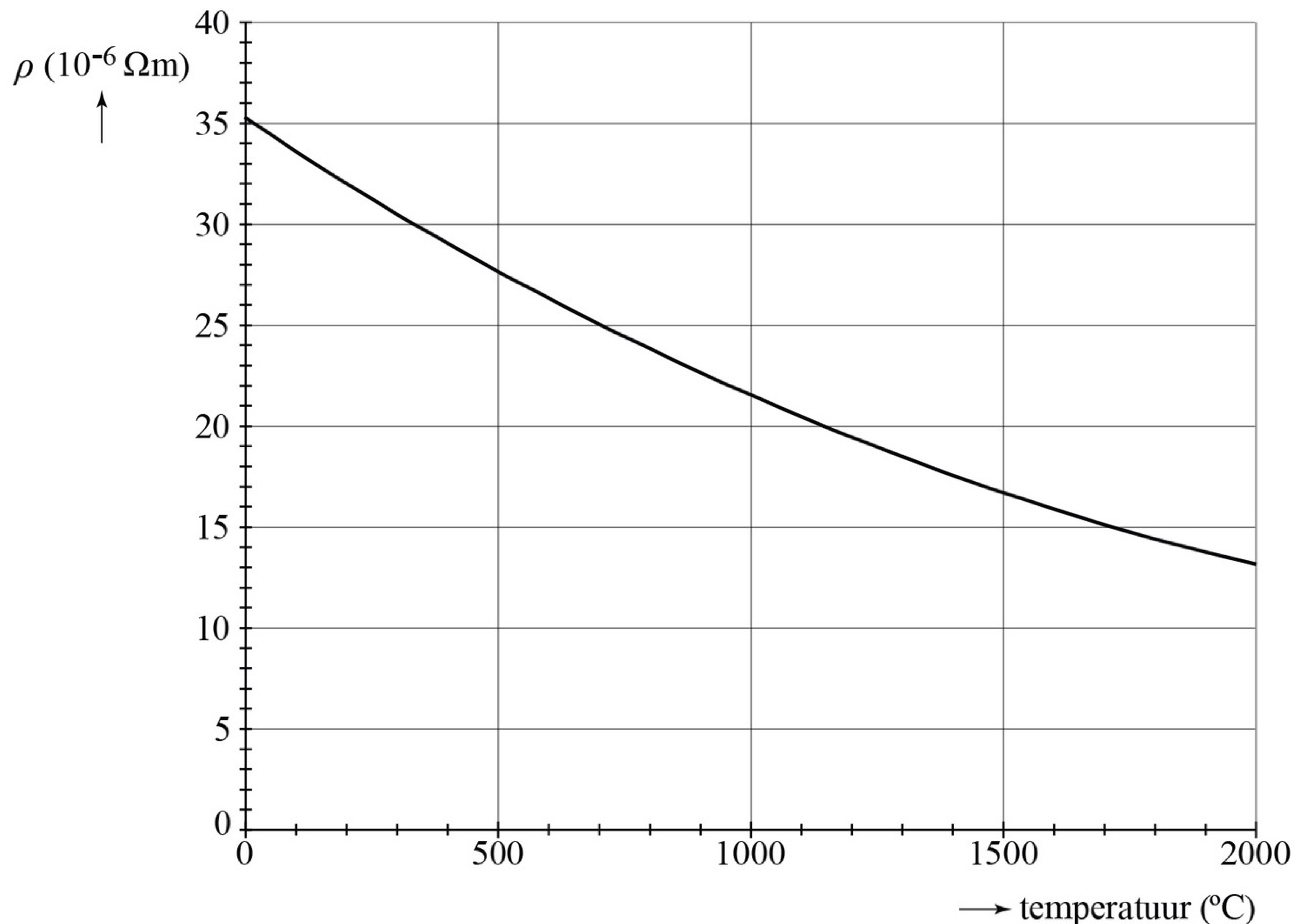
Een elektricien draagt tijdens zijn werk speciale veiligheidsschoenen. Deze schoenen hebben een 5,5 mm dikke rubberen zool.

a Bereken de weerstand van een zool als deze 2,2 dm^2 groot is.
b Een stroomsterkte door het lichaam groter dan enkele tientallen mA kan fatale gevolgen hebben.
Laat zien dat de veiligheidsschoenen voldoende bescherming bieden als over de elektricien een spanning van 230 V komt te staan.

+31 Gloeidraad

Een gloeidraad is gemaakt van koolstof. De draad heeft een lengte van 14 cm en een dikte van 0,030 mm. In figuur 31 is aangegeven hoe de soortelijke weerstand van koolstof afhangt van de temperatuur. Bij een spanning van 230 V loopt door de draad een stroomsterkte van 75 mA.
Bepaal met behulp van de figuur de temperatuur van de gloeidraad.

bron: examen 2010-II



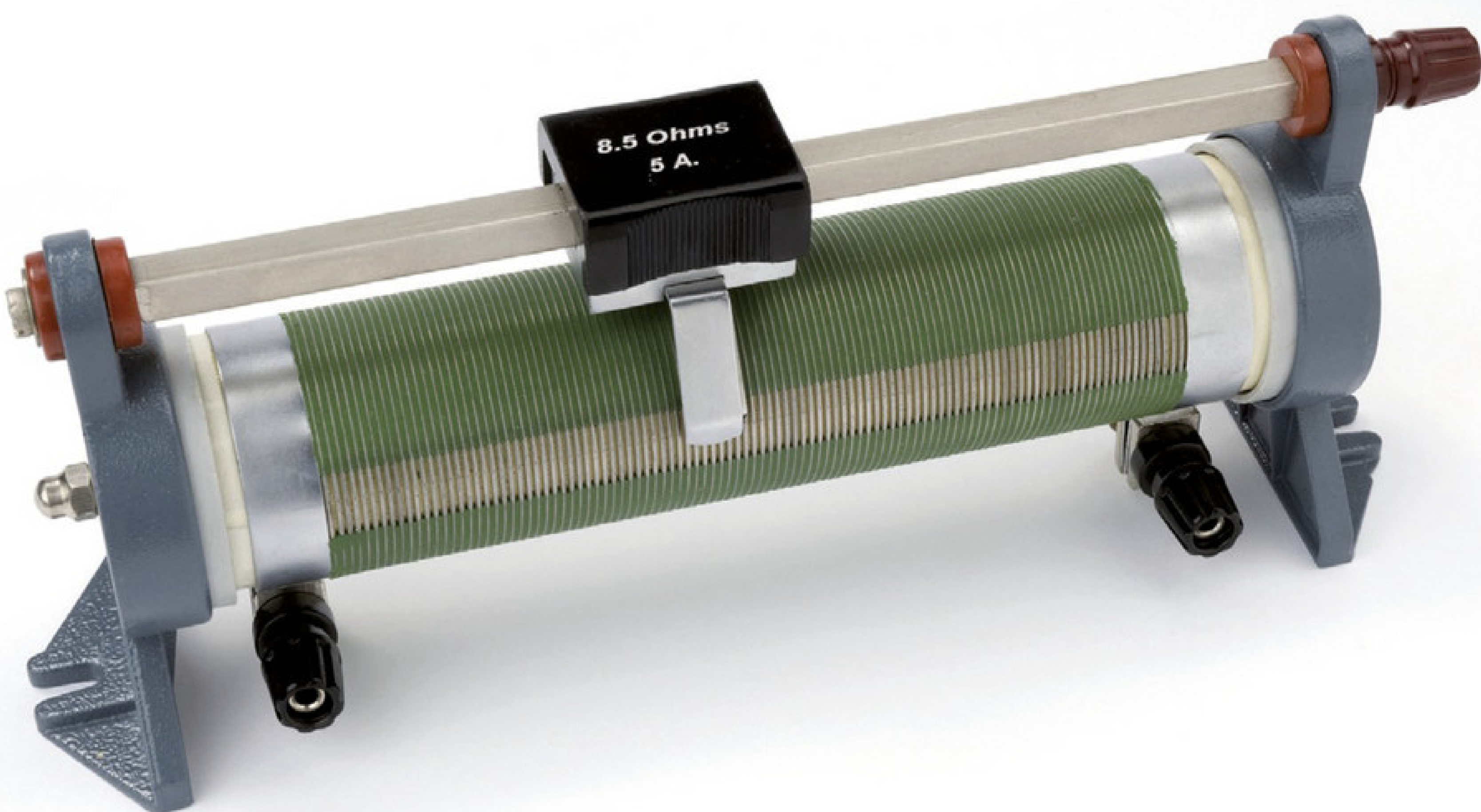
▲ **figuur 31** het (ρ,T)-diagram van koolstof

+32 Schuifweerstand

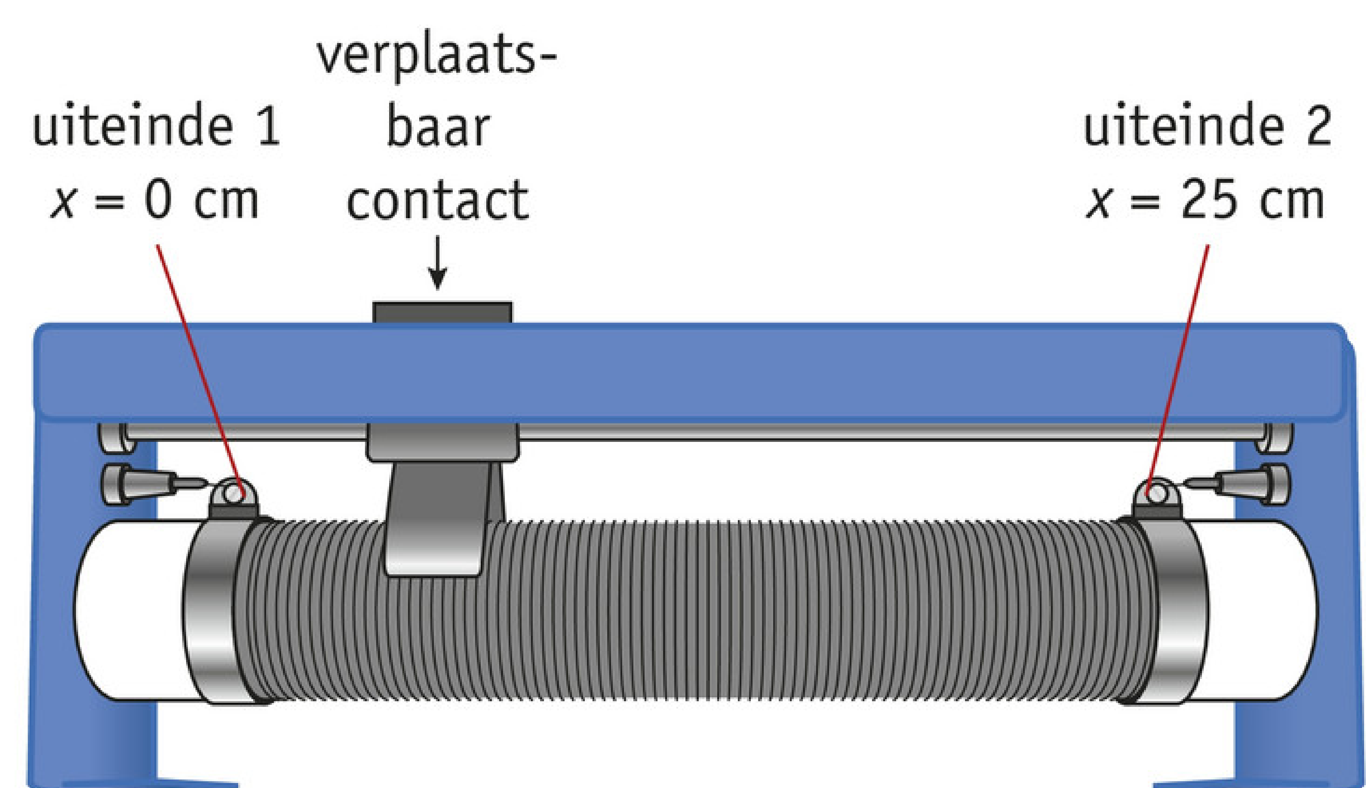
Een schuifweerstand is een combinatie van een draad met een bekende lengte en een verplaatsbaar contact (figuur 32). De draad is opgerold. Het verplaatsbare contact kan over de lengte van de draad worden versleept. Door het verplaatsen van het contact verandert ook de weerstand tussen het contact en een van beide uiteinden.
Figuur 33 is een schematische weergave van de schuifweerstand. De positie van de schuif wordt aangegeven met x. Als het contact helemaal naar links staat (x = 0 cm), is de weerstand tussen uiteinde 1 en het contact 0 Ω en tussen uiteinde 2 en het contact 100 Ω. De lengte waarover kan worden geschoven, is 25 cm.

a Bereken de weerstand tussen uiteinde 1 en het contact als de schuif op x = 1,0 cm staat.

b Bereken op welke afstanden de schuif kan staan om een weerstand van 1,0 Ω te krijgen.



▲ **figuur 32** een schuifweerstand



▲ **figuur 33** schematische weergave van een schuifweerstand

5 Speciale weerstanden

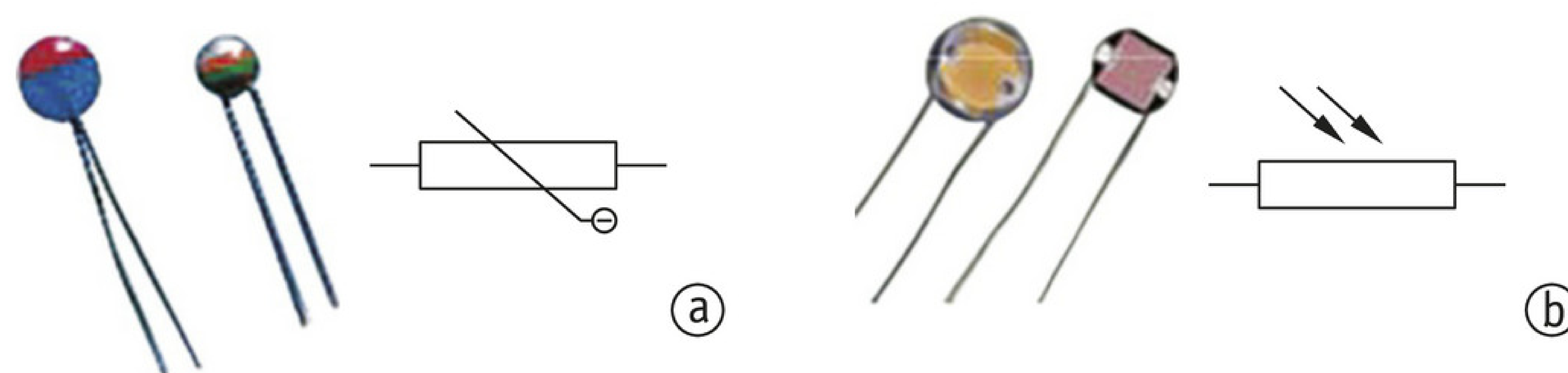
In deze paragraaf leer je:
- de eigenschappen van een PTC, NTC, LDR en een diode kennen;
- de componenten PTC, NTC, LDR en diode toe te passen.

Ohmse weerstanden hebben een constante weerstandswaarde. In paragraaf 3 heb je kennisgemaakt met niet-ohmse weerstanden, waarbij de weerstand verandert bij toenemende spanning. Er zijn ook speciale weerstanden die afhankelijk zijn van temperatuur en licht.

PTC, NTC en LDR

Geleiders waarvan de weerstandswaarde constant is, worden ohmse weerstanden genoemd. Voor die weerstanden geldt de wet van Ohm. Voorbeelden van ohmse weerstanden zijn draadstukken van manganien en constantaan. Dat zijn mengsels (ook alliages of legeringen genoemd) van verschillende metalen. In Binas tabel 9 zie je de samenstelling van die alliages.

In paragraaf 3 zag je al dat het (I,U)-diagram van ohmse weerstanden een rechte lijn door de oorsprong is: I en U zijn recht evenredig. In het (I,U)-diagram van een gloeidraad is de grafiek geen rechte lijn. De weerstand wordt groter naarmate de stroomsterkte en daardoor ook de temperatuur toeneemt. Dat komt doordat de weerstand van het materiaal waarvan de gloeidraad is gemaakt, bij temperatuurstijging groter wordt. Dat geldt voor de meeste metalen. Vanwege deze temperatuurafhankelijkheid worden deze materialen ook wel **PTC's** genoemd: materialen met een **p**ositieve **t**emperatuur**c**oëfficiënt. Ze zijn heel geschikt als temperatuurbeveiliging in elektrische apparaten.
Er zijn ook weerstanden waarvan de grootte van de weerstand juist afneemt als de temperatuur stijgt. Deze weerstanden worden **NTC's** (**n**egatieve **t**emperatuur**c**oëfficiënt) genoemd (figuur 34a). Ze zijn heel geschikt om te dienen als elektrische thermometer.
Bij andere weerstanden neemt de weerstand juist af naarmate er meer licht op valt. Deze zogenoemde **LDR's** (*light dependent resistor*, lichtgevoelige weerstand) worden als lichtsensoren toegepast (figuur 34b). LDR's zijn gemaakt van halfgeleiders: stoffen die qua elektrische geleiding het midden houden tussen een geleider en een isolator. Als er weinig of geen licht op een LDR valt, is de weerstand hoog.

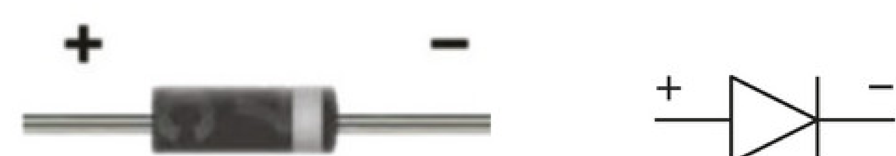


▲ **figuur 34** NTC (a) en LDR (b) en hun symbolen

▶ **EXPERIMENT 2** Temperatuurbepaling met een NTC

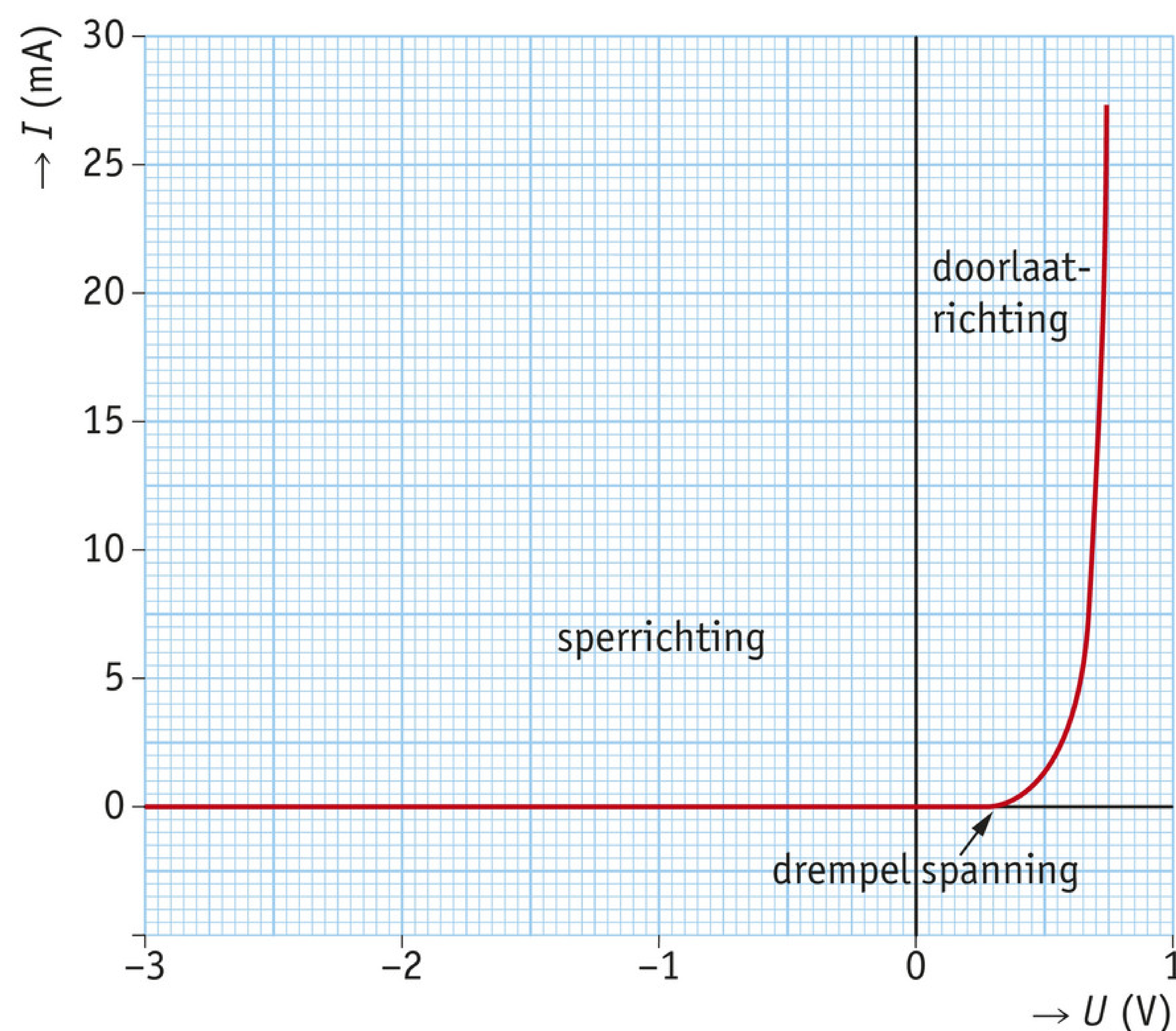
De diode

Een bijzondere weerstand is de **diode** (figuur 35). Deze component laat stroom maar in één richting door: de **doorlaatrichting**. In tegengestelde richting kan geen stroom door de diode lopen: dat is de **sperrichting**.



▲ **figuur 35** diode en het symbool van een diode

Het (I,U)-diagram van de diode ziet eruit als in figuur 36. Alleen als de linkerzijde van de diode in figuur 35 op de positieve pool en de rechterzijde op de negatieve pool van de spanningsbron wordt aangesloten, kan er vanaf een (kleine) spanning, de zogenaamde **drempelspanning**, een stroom door de diode lopen. Dat wordt de doorlaatrichting genoemd. Sluit je de diode omgekeerd op de spanningsbron aan (de negatieve spanning in het diagram van figuur 36), dan loopt er geen stroom: de sperrichting.



▲ **figuur 36** de (I,U)-karakteristiek van een diode

Voorbeeldopgave 8

De diode van figuur 36 wordt aangesloten op een regelbare spanningsbron. De spanning wordt gevarieerd. De spanning over de diode als functie van de tijd is weergegeven in figuur 37.

a Bepaal met behulp van figuur 36 de spanning waarbij de diode stroom doorlaat.
b Bepaal met behulp van figuur 37 de tijdsduur waarin de diode stroom doorlaat.

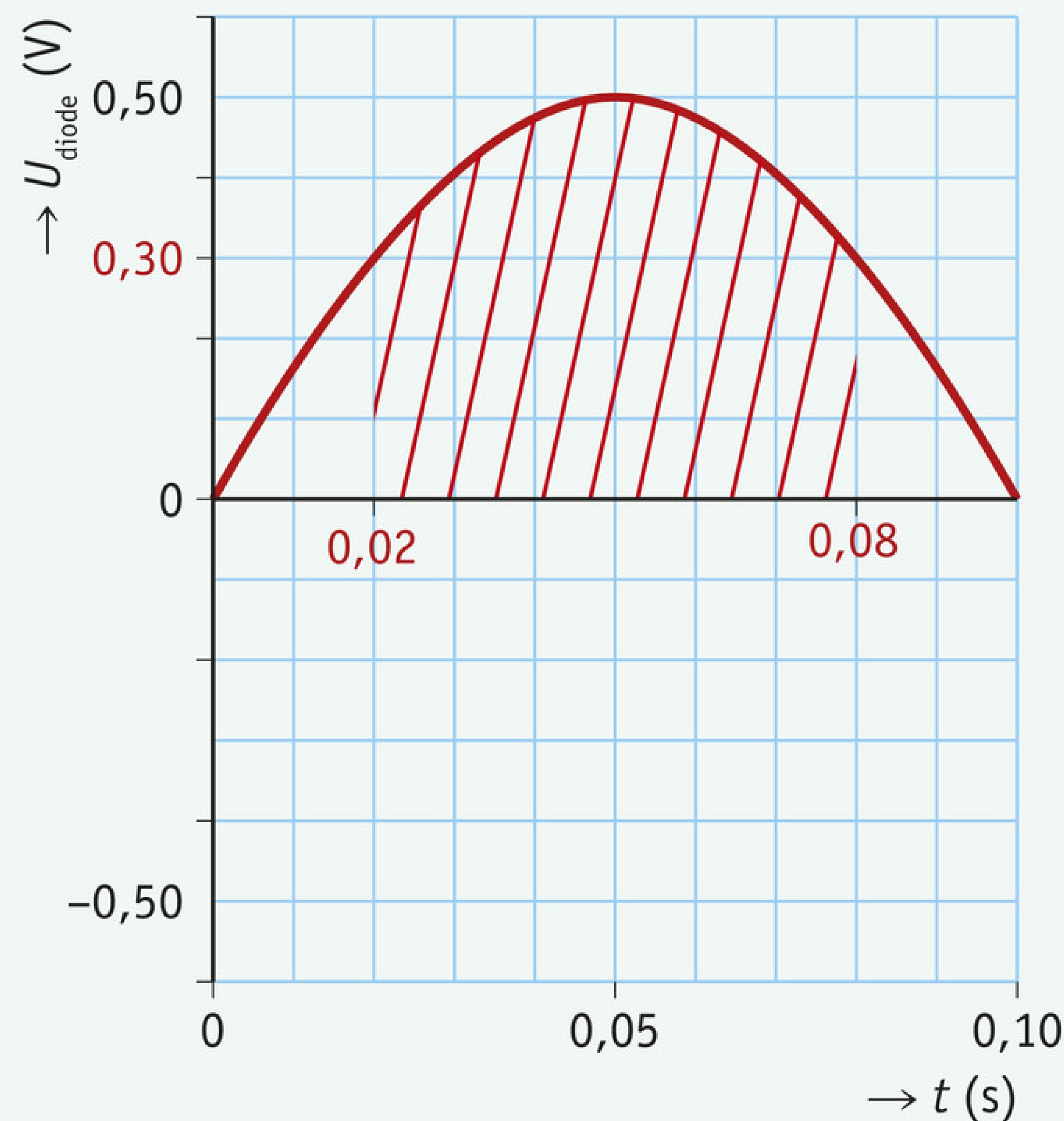


▲ **figuur 37** het (U,t)-diagram van de diode

Uitwerking

a De diode laat pas stroom door als de spanning groter is dan de drempelspanning. De drempelspanning in figuur 36 is 0,30 V.

b De diode laat de stroom door als de spanning over de diode groter is dan 0,30 V. Dit is tussen 0,02 s en 0,08 s (figuur 38). De tijdsduur waarin de diode stroom doorlaat, is 0,08 – 0,02 = 0,06 s.



▲ **figuur 38** bepaling van de tijdsduur bij U_{diode} > 0,30 V

De led

Sommige dioden zenden zichtbaar licht uit als de stroom er in de doorlaatrichting doorheen wordt gestuurd. Dit type diode wordt **led** genoemd (*light emitting diode*; figuur 39). Deze dioden worden onder meer gebruikt als stand-bylampjes op televisies of computers.
Leds worden steeds meer als verlichting toegepast, bijvoorbeeld bij verkeerslichten, in autoverlichting (de 'kraaltjeskoplampen'), maar ook bij verlichting in huis. Ledverlichting is duurder dan andere verlichting, maar gaat langer mee en er is minder warmteverlies dan bij andere soorten verlichting, zoals spaarlampen.



▲ **figuur 39** led en het symbool van een led

Onthoud!

- Bij ohmse weerstanden is de weerstandswaarde constant en dus niet temperatuurafhankelijk.
- Bij niet-ohmse weerstanden is de weerstandswaarde temperatuurafhankelijk: bij temperatuurstijging wordt de weerstand groter (PTC's) of kleiner (NTC's).
- Met halfgeleidermaterialen kun je lichtgevoelige weerstanden maken: LDR's. Naarmate er meer licht op valt, wordt de weerstand kleiner.
- Dioden zijn elektrische componenten die de stroom maar in één richting doorlaten.
- Leds zijn dioden die licht uitzenden.

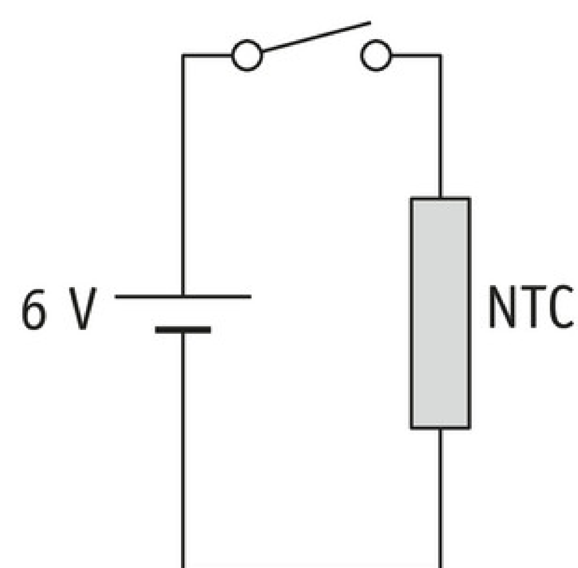
Opdrachten

33 Specifieke weerstanden
Beantwoord de volgende vragen.
a Wat is een led?
b Welke bijzondere eigenschap heeft een diode?
c Wat is het verschil tussen een PTC- en een NTC-weerstand?

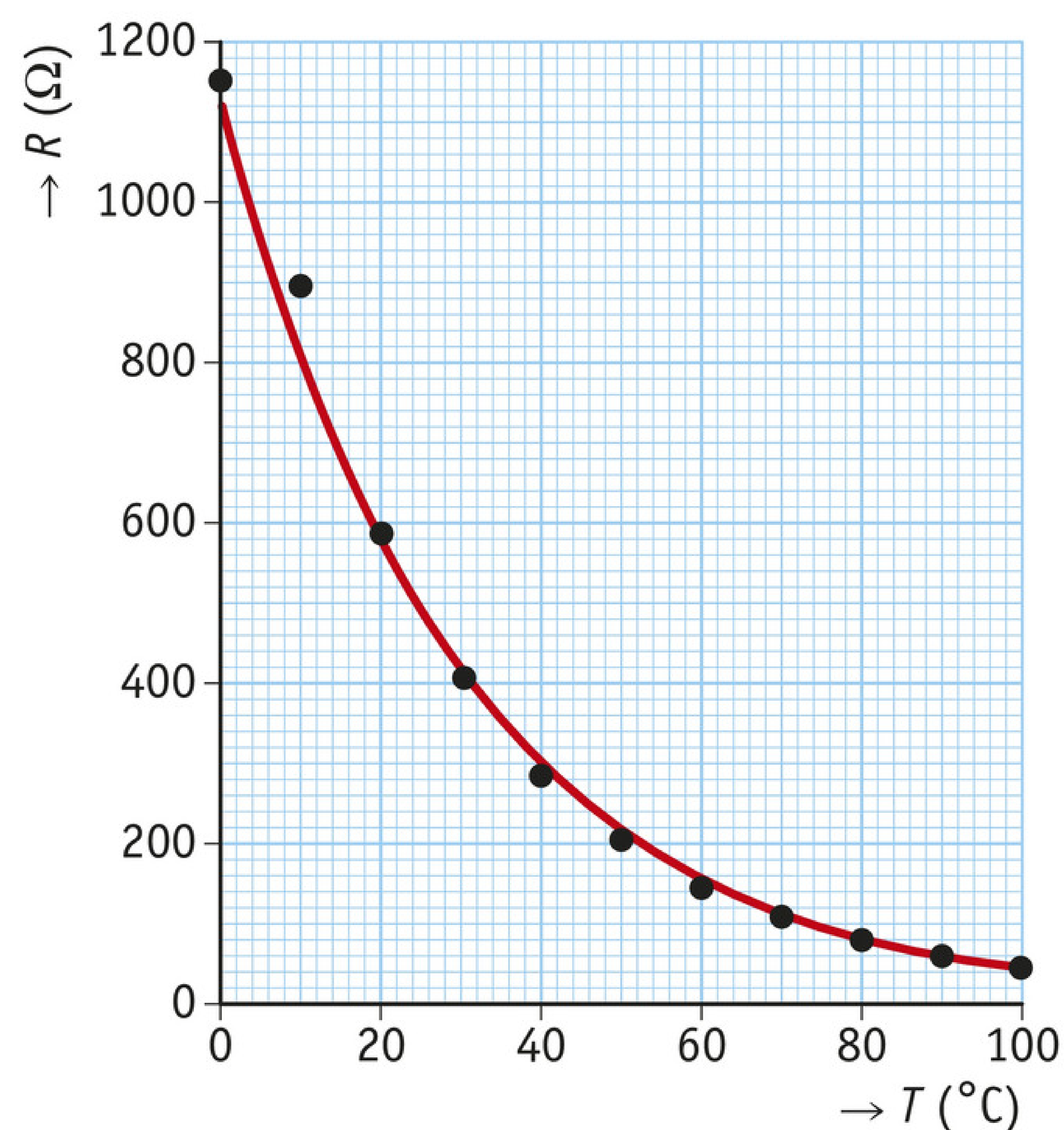
34 NTC-weerstand
Bij een NTC-weerstand neemt de grootte van de weerstand af als de temperatuur stijgt.
a Schets het (I,U)-diagram van een NTC-weerstand.
b Licht toe hoe je uit jouw diagram kunt afleiden dat de weerstand afneemt als de temperatuur stijgt.

35 LDR
Een LDR die op een batterij van 4,5 V is aangesloten, heeft onbelicht een weerstand van 8,0 MΩ. De weerstandswaarde neemt af tot 100 Ω als er zonlicht op valt.
a Teken een schakelschema van deze situatie (gebruik Binas tabel 17B).
b Bereken de minimale en maximale stroomsterkte die door de LDR kan gaan.

36 Elektrische thermometer
De NTC-weerstand in figuur 40 wordt als elektrische thermometer gebruikt. Na het sluiten van de schakelaar staat over de NTC een spanning van 6,0 V.
a Desirée vergelijkt de stroomsterkte door de NTC vlak nadat de schakelaar is gesloten en een tijdje daarna.
Leg uit of de stroomsterkte door de NTC het grootst is direct na het sluiten van de schakelaar of een tijdje daarna.
b De NTC wordt in een bekerglas water gedompeld. Er blijkt dan een stroom van 12 mA door de NTC te lopen.
Bekijk het (R,T)-diagram van de NTC in figuur 41. Bepaal de temperatuur van het water.



▲ **figuur 40** een NTC in een elektrische schakeling



▲ **figuur 41** de (R,T)-karakteristiek van een NTC

37 Diode

Bekijk het (I,U)-diagram van een diode in figuur 36.

a Schets het verband tussen de weerstand van de diode en de spanning (tussen –3,0 V en +1,0 V).

b In tabel 3 zie je enkele metingen van de spanningen over en de stroom door de diode van figuur 36.

▼ **tabel 3** (U,I)-gegevens van de diode

U_{diode} (V)	I_{diode} (mA)
0,00	0,0
0,13	0,0
0,21	0,0
0,55	2,3
0,67	7,0
0,74	27,0

Volgens de specificaties van de fabrikant is de drempelspanning van de diode 0,30 V. Toon aan dat de metingen in tabel 3 dit niet tegenspreken.

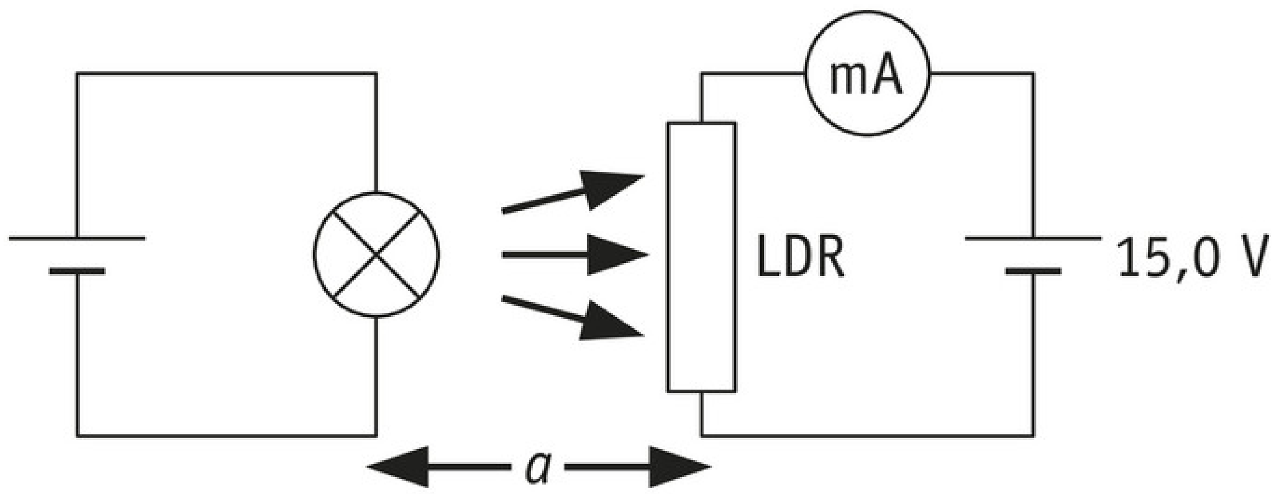
naar: examen 2011-I

38 Lichtsterkte en LDR

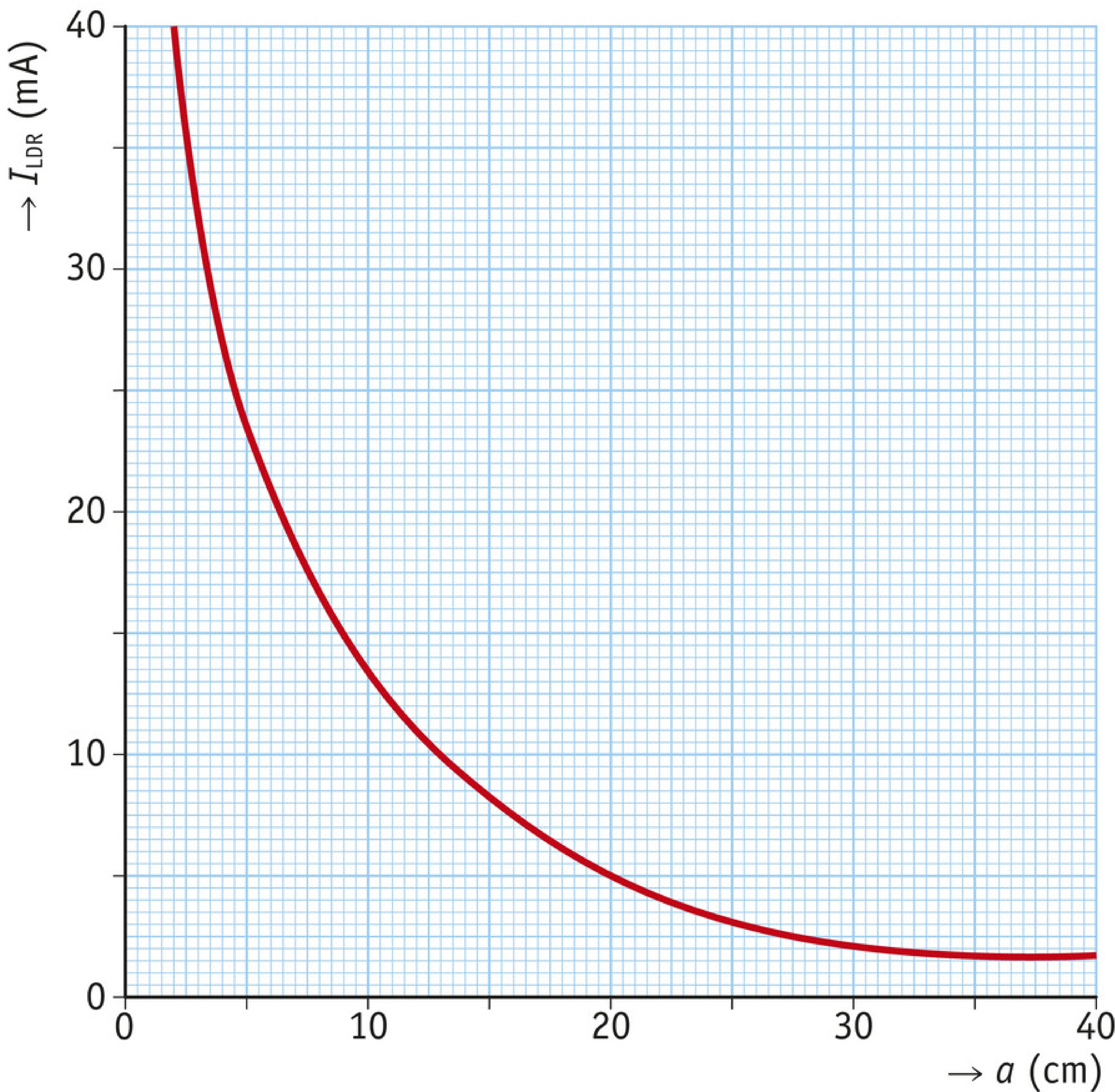
De weerstand van een LDR wordt bij verschillende lichtsterkten bepaald met behulp van de opstelling in figuur 42. De stroomsterkte door de LDR wordt daarvoor gemeten als functie van de afstand a tussen de LDR en het lampje. De LDR krijgt alleen licht van het lampje. De spanning over de LDR is constant 15,0 V. In figuur 43 is het resultaat van de metingen weergegeven.

a Bepaal met behulp van het diagram in figuur 43 de grootte van de weerstand van de LDR bij a = 5,0 cm, bij 15 cm, bij 25 cm en bij 35 cm.

b Maak van de meetresultaten een grafiek van de weerstand van de LDR als functie van de afstand a.



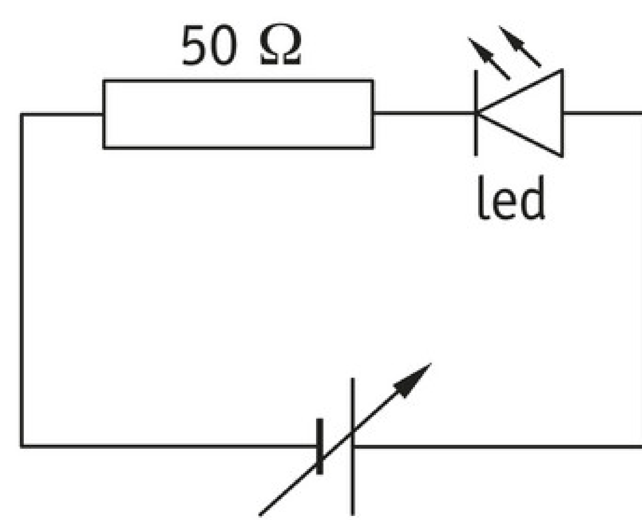
▲ **figuur 42** bepaling van de lichtsterkte met een LDR



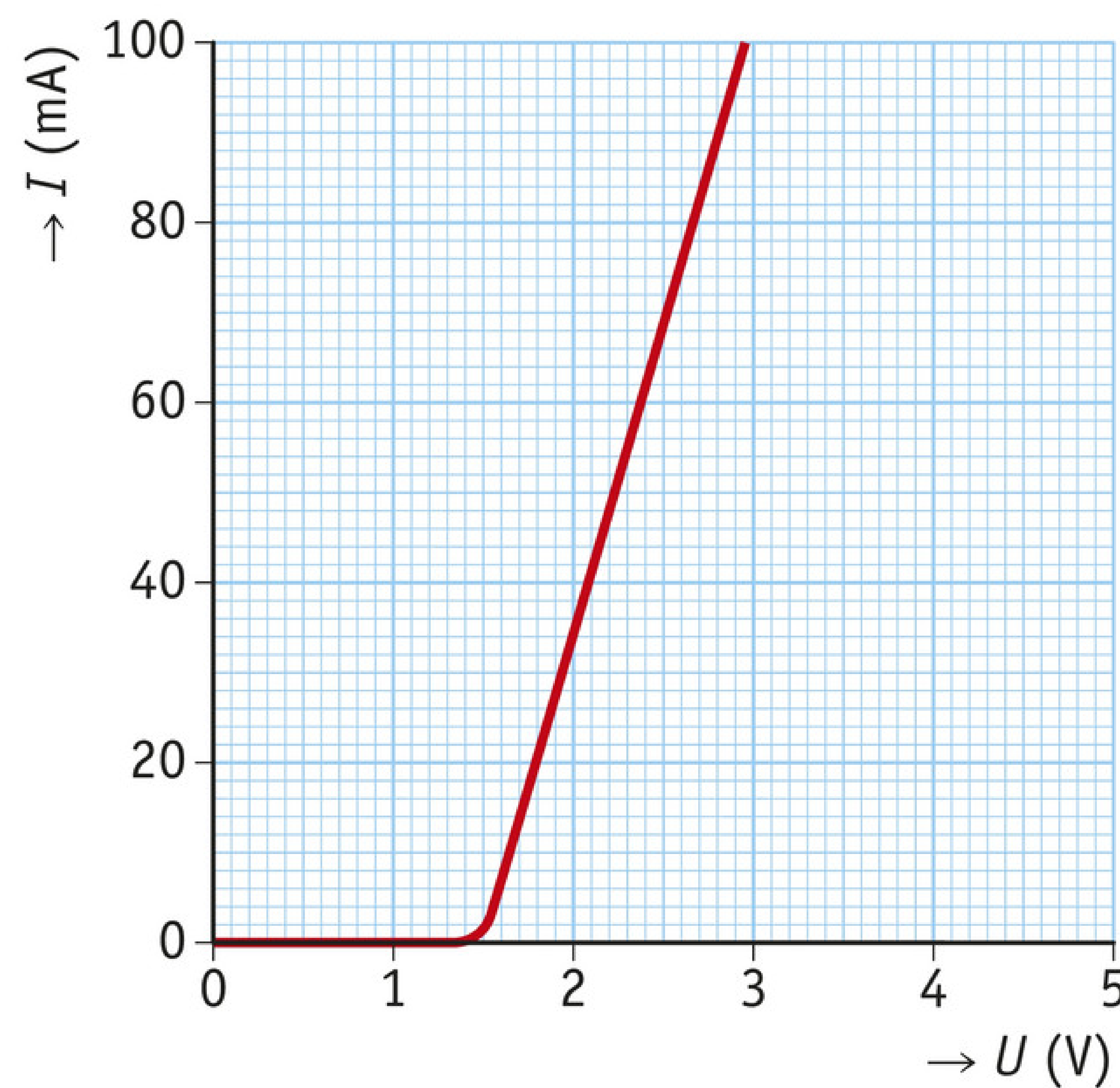
▲ **figuur 43** grafiek van een lichtmeting met de LDR

39 Led en weerstand

France neemt tijdens een practicum een led op in een elektrische schakeling, waarvan het schakelschema in figuur 44 is weergegeven. Om het verband te meten tussen de spanning over en de stroom door de led, moeten in de schakeling een spanningsmeter en een stroommeter worden opgenomen.



▲ **figuur 44** het schakelschema van Frances opstelling



▲ **figuur 45** de karakteristiek van de led uit figuur 44

a Teken het schakelschema van de schakeling waarin deze meters zijn opgenomen.

b In figuur 45 is het resultaat van de metingen weergegeven.
Bepaal de weerstand van de led wanneer de stroomsterkte door de led 50 mA bedraagt.

c In de schakeling heeft France een weerstand van 50 Ω opgenomen.
Bepaal de spanning die de spanningsbron levert als er door de led een stroom loopt van 100 mA.

+40 Temperatuur bepalen

Alfredo wil de temperatuur van een ijzeren gloeidraad bepalen. Daartoe maakt hij gebruik van de grootheid weerstandstemperatuurcoëfficiënt α. Deze grootheid geeft aan hoeveel de weerstandswaarde verandert als de temperatuur één graad stijgt. Voor de gloeidraad geldt:

$$\Delta R = R_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

Hierin is:

- ΔR de weerstandstoename in Ω;
- R_0 de weerstand bij kamertemperatuur in Ω;
- α de weerstandstemperatuurcoëfficiënt in K^{-1};
- ΔT de temperatuurstijging in K.

a Leg aan de hand van de formule uit of een gloeidraad van ijzer een ohmse weerstand, een PTC of een NTC is.

b De ijzeren draad is 21 cm lang en heeft bij kamertemperatuur een weerstand van 65 Ω.
Bereken de diameter van de draad.

Als Alfredo de ijzeren draad op een spanning van 230 V aansluit, gaat deze gloeien. De stroomsterkte door de draad is dan 0,45 A.

c Zoek in Binas tabel 8 de weerstandstemperatuurcoëfficiënt van ijzer op.

d Bereken met behulp van de gegevens de temperatuur van de gloeidraad als deze is aangesloten op 230 V.

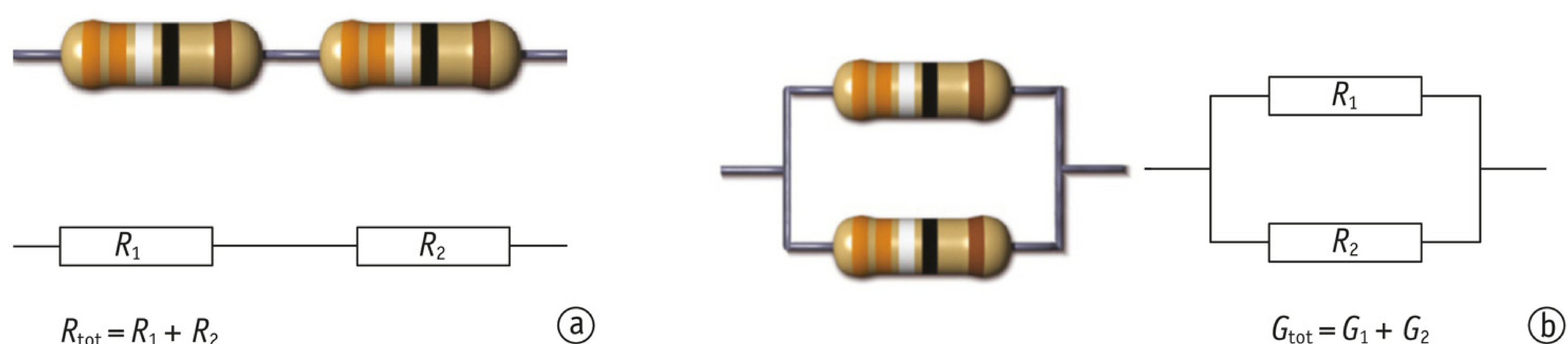
6 Serie en parallel

In deze paragraaf leer je:
- stroomkringen analyseren;
- de begrippen ‘stroomdeling’ en ‘spanningsdeling’ toepassen;
- rekenen met spanning, stroomsterkte en weerstand.

In de praktijk werk je meestal met weerstanden die een bepaalde vaste waarde hebben. Als je een andere weerstandswaarde wilt hebben, moet je weerstanden combineren.

Weerstanden combineren

Je kunt weerstanden op twee manieren combineren: in serie of parallel. Je maakt dan een **serieschakeling** of **parallelschakeling** (figuur 46).

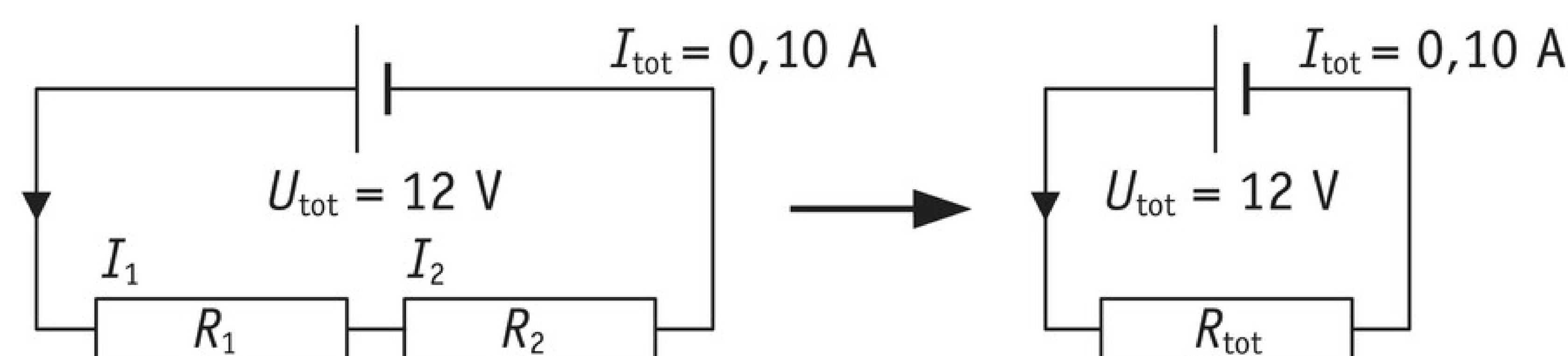


▲ **figuur 46** voorbeeld van een serieschakeling (a) en een parallelschakeling (b) en hun symbolen

Weerstanden worden met elkaar verbonden met verbindingsdraden. De weerstand van de verbindingsdraden is verwaarloosbaar klein ten opzichte van de waarde van de weerstand. Daarom wordt de verbindingsdraad niet als een weerstand getekend.

Serieschakeling

In een serieschakeling wordt bij het toevoegen van een weerstand de totale weerstand groter. Want als je twee weerstanden in serie schakelt, schakel je in feite twee draden in serie. De weerstand neemt dus toe doordat de draad een grotere lengte krijgt. Om in een serieschakeling de totale weerstand uit te rekenen, tel je de weerstanden bij elkaar op: $R_{tot} = R_1 + R_2 + \dots$
De **totale weerstand R_{tot}** wordt ook wel de **vervangingsweerstand** genoemd. De totale weerstand is de weerstand waarbij dezelfde stroom loopt als in de oorspronkelijke schakeling, zoals te zien is in figuur 47.



▲ **figuur 47** de totale weerstand van een serieschakeling

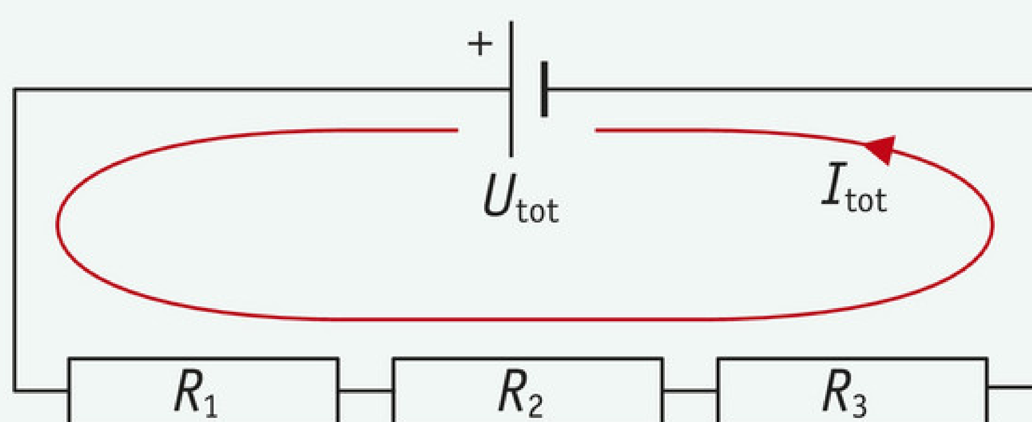
De stroom is door elke weerstand hetzelfde: $I_{tot} = I_1 = I_2 = \dots$
Dit is te zien door de stroomkring te tekenen, zoals bijvoorbeeld in figuur 48. Om de stroomsterkte te berekenen, moet je de totale weerstand bepalen. De stroomsterkte is te berekenen door de spanning over de totale weerstand te delen door de berekende totale weerstand.

In figuur 48 is de spanning over de totale weerstand gelijk aan de spanning van de spanningsbron. Voor de berekening maakt de soort bron niets uit, alleen de waarde van de spanning is belangrijk. De waarde van bronspanning U_{bron} wordt de **totale spanning U_{tot}** genoemd. Om de stroom in een schakeling te berekenen, gebruik je $I_{tot} = \frac{U_{tot}}{R_{tot}}$

Door de weerstanden in serie te schakelen, treedt er een **spanningsdeling** op: elke weerstand krijgt een deel van de spanning. De spanning over elke weerstand is te berekenen met de wet van Ohm, door de berekende stroomsterkte te vermenigvuldigen met de waarde van de weerstand waarover je de spanning wilt weten. De spanning over alle weerstanden samen is vervolgens weer gelijk aan de spanning van de bron: $U_{tot} = U_1 + U_2 + \ldots$

Voorbeeldopgave 9

Michiel heeft drie verschillende weerstanden. De waarde van de weerstanden is 10 Ω, 20 Ω en 30 Ω. De weerstanden sluit hij in serie aan op een batterij van 4,5 V (figuur 48).



▲ **figuur 48** schema van een serieschakeling van drie weerstanden en een batterij

a Bereken de totale weerstand.
b Bereken de stroomsterkte door elke weerstand in mA.
c Bereken de spanning over elke weerstand.

Uitwerking

a De totale weerstand is te berekenen met $R_{tot} = R_1 + R_2 + R_3 = 10 + 20 + 30 = 60\ \Omega$.

b De spanning van de batterij is $U_{tot} = 4{,}5$ V. De totale weerstand is $R_{tot} = 60\ \Omega$.
De stroomsterkte wordt berekend met de wet van Ohm:

$$R_{tot} = \frac{U_{tot}}{I_{tot}} \rightarrow I_{tot} = \frac{U_{tot}}{R_{tot}} = \frac{4{,}5}{60} = 0{,}075 \text{ A} = 75 \text{ mA}$$

c De stroomsterkte is door elke weerstand hetzelfde: $I_{tot} = I_1 = I_2 = I_3 = 0{,}075$ A.
De spanning over elke weerstand wordt berekend met de wet van Ohm:

$$R_1 = \frac{U_1}{I_1} \rightarrow U_1 = I_1 \cdot R_1 = 0{,}075 \times 10 = 0{,}75 \text{ V}$$

$$R_2 = \frac{U_2}{I_2} \rightarrow U_2 = I_2 \cdot R_2 = 0{,}075 \times 20 = 1{,}5 \text{ V}$$

$$R_3 = \frac{U_3}{I_3} \rightarrow U_3 = I_3 \cdot R_3 = 0{,}075 \times 30 = 2{,}3 \text{ V}$$

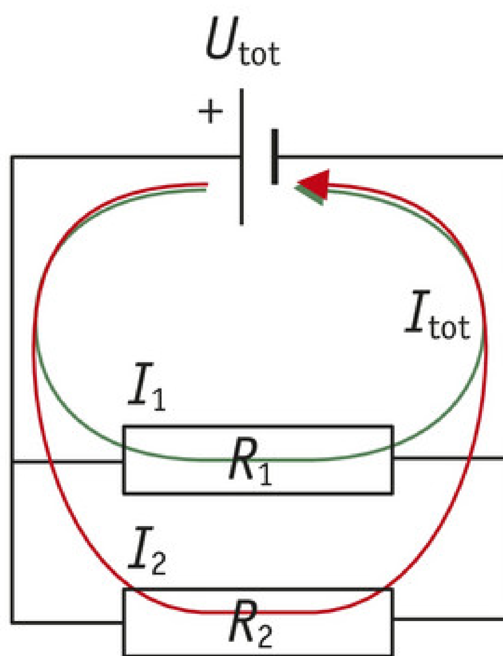
Je kunt U_3 ook berekenen met: $U_{tot} = U_1 + U_2 + U_3$

Parallelschakeling

Door weerstanden parallel te schakelen, neemt de weerstand af. Want als je twee weerstanden parallel schakelt, schakel je in feite twee draden parallel. Deze kun je opvatten als één draad met een 2× zo grote doorsnede. In een parallelschakeling bereken je de totale weerstand R_{tot} met:

$$\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \ldots$$

In een parallelschakeling is de spanning over elke weerstand gelijk aan de spanning van de bronspanning: $U_{tot} = U_1 = U_2 = \ldots$
Bij de parallelschakeling treedt een **stroomdeling** op. De stroomsterkte afkomstig van de bron verdeelt zich over de weerstanden zoals te zien is in figuur 49. De totale stroomsterkte afkomstig uit de batterij is de som van de stroomsterkte door elke weerstand: $I_{tot} = I_1 + I_2 + \ldots$
Vandaar dat je ook twee stroomsterktepijlen ziet bij de batterij in figuur 49.



▲ **figuur 49** schema van een parallelschakeling van twee weerstanden en een batterij

Voorbeeldopgave 10

Gerda heeft twee weerstanden, een van 30 Ω en een van 60 Ω. Ze sluit deze parallel aan op een batterij van 6,0 V zoals in figuur 49.

a Bereken de totale weerstand.
b Bereken de spanning over elke weerstand.
c Bereken de stroomsterkte door elke weerstand in mA.

Uitwerking

a De totale weerstand wordt berekend met de volgende formule:

$$\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{30} + \frac{1}{60} = \frac{3}{60} = 0{,}050\ \Omega^{-1} \qquad R_{tot} = \frac{1}{0{,}050} = 20\ \Omega$$

b De spanning over elke weerstand is gelijk aan de batterijspanning: $U_{tot} = U_1 = U_2 = 6{,}0$ V.

c De stroomsterkte door elke weerstand wordt berekend met de wet van Ohm:

$$R_1 = \frac{U_1}{I_1} \rightarrow I_1 = \frac{U_1}{R_1} = \frac{6{,}0}{30} = 0{,}20 = 2{,}0 \cdot 10^2\ \text{mA}$$

$$R_2 = \frac{U_2}{I_2} \rightarrow I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{6{,}0}{60} = 0{,}10\ \text{A} = 1{,}0 \cdot 10^2\ \text{mA}$$

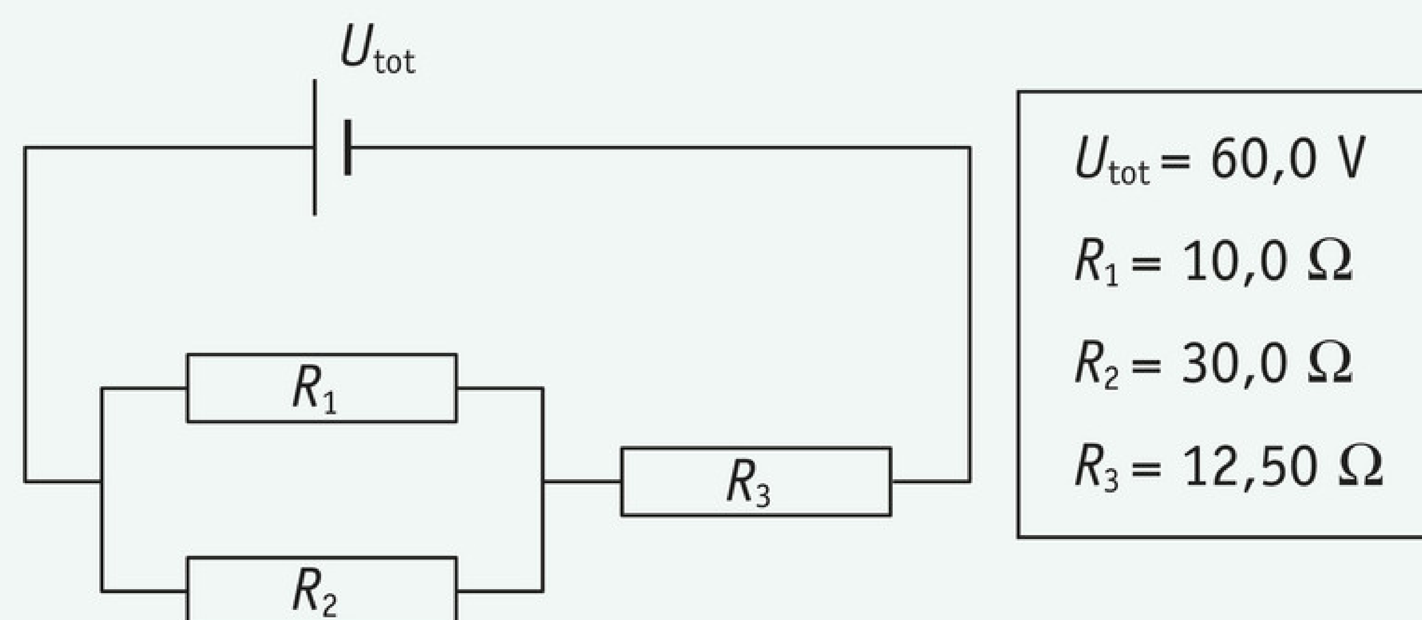
Je kunt I_2 ook berekenen met: $I_{tot} = I_1 + I_2$

Gemengde schakeling

Een schakeling waarbij serie en parallel worden gecombineerd, heet een **gemengde schakeling** (figuur 50). Bij vraagstukken over een gemengde schakeling bereken je stap voor stap de totale weerstand. Bij elke stap is het handig om een tekening te maken van de schakeling. Daarna bereken je de totale stroom met de formule $I_{tot} = \frac{U_{tot}}{R_{tot}}$

Voorbeeldopgave 11

In figuur 50 is een gemengde schakeling getekend.



▲ **figuur 50** schema van een gemengde schakeling

a Bereken de totale weerstand.
b Bereken de totale stroom I_{tot}.
c Bereken de spanning over weerstand R_3.
d Bereken de deelstromen I_1 en I_2.

Weerstand R_1 wordt uit de schakeling verwijderd.
e Leg uit of de totale stroom I_{tot} die de spanningsbron dan levert (opgave b), kleiner of groter wordt of gelijk blijft.

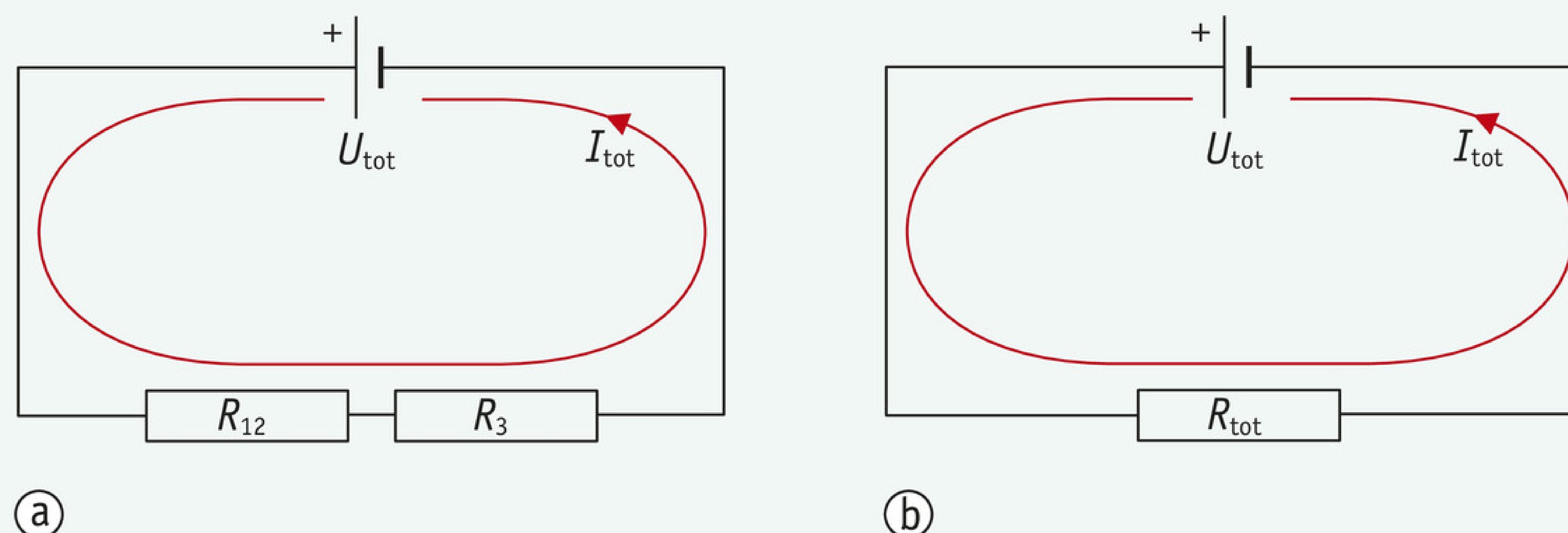
Uitwerking

a Je berekent stap voor stap de totale weerstand. Daarvoor bereken je eerst de totale weerstand van de twee parallel geschakelde weerstanden R_1 en R_2.

$$\frac{1}{R_{12}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{10{,}0} + \frac{1}{30{,}0} = \frac{3}{30{,}0} + \frac{1}{30{,}0} = \frac{4}{30{,}0}\ \Omega^{-1}$$

Hieruit volgt: $R_{12} = \frac{30{,}0}{4} = 7{,}50\ \Omega$

De schakeling is nu vereenvoudigd tot de schakeling in figuur 51a.



▲ **figuur 51** Bepaal de totale weerstand.

De volgende stap is het berekenen van de totale weerstand van de twee in serie geschakelde weerstanden R_{12} en R_3. Je krijgt dan de schakeling uit figuur 51b.
$R_{tot} = R_{12} + R_3 = 7{,}50 + 12{,}50 = 20{,}00\ \Omega$

b De totale stroomsterkte bereken je met de schakeling uit figuur 51b:

$$I_{tot} = \frac{U_{tot}}{R_{tot}} = \frac{60{,}0}{20{,}00} = 3{,}00\ \text{A}$$

c Voor het berekenen van de spanning over R_3 moet je weten wat de waarde van R_3 en de stroomsterkte door R_3 is. De stroomsterkte door R_3 is gelijk aan de totale stroomsterkte zoals te zien in figuur 51a. De waarde van R_3 is gegeven. Je kunt de spanning U_3 nu uitrekenen met de formule van Ohm:
$U_3 = I_3 \cdot R_3 = 3{,}00 \times 12{,}50 = 37{,}5\ \text{V}$

d De deelstromen kun je berekenen met de formule van Ohm. Maar eerst moeten de spanningen over R_1 en R_2 worden bepaald. De spanning over R_1 is gelijk aan de spanning over R_{12}. Van de bronspanning staat een deel over R_3 en de rest over de parallelschakeling van R_1 en R_2. Over de parallelschakeling staat dus 60,0 – 37,5 = 22,5 V spanning. Bij een parallelschakeling staat over de weerstanden dezelfde spanning, dus $U_1 = U_2 = 22{,}5$ V.
Nu de spanningen en de weerstanden bekend zijn, kunnen met behulp van de formule van Ohm de deelstromen worden berekend:

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1} = \frac{22{,}5}{10{,}0} = 2{,}25\ \text{A}$$

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{22{,}5}{30{,}0} = 0{,}75\ \text{A}$$

e Voordat R_1 wordt verwijderd, is de totale weerstand van de schakeling 20,00 Ω.
Nadat R_1 is verwijderd, is de totale weerstand van de schakeling:
$R_{tot} = R_2 + R_3 = 30{,}0 + 12{,}50 = 42{,}5\ \Omega$. De totale weerstand neemt dus door verwijdering van R_1 toe. Omdat de bronspanning gelijk blijft, is de totale stroom geleverd door de spanningsbron ($I_{tot} = \frac{U_{tot}}{R_{tot}}$) kleiner.

▶ EXPERIMENT 3 Gemengde schakelingen

Onthoud!

- Bij een serieschakeling gelden de volgende formules:
  – $R_{tot} = R_1 + R_2$ + enzovoort
  – $I_{tot} = I_1 = I_2$ = enzovoort
  – $U_{tot} = U_1 + U_2$ + enzovoort
- Bij een parallelschakeling gelden de volgende formules:
  – $\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$ + enzovoort
  – $I_{tot} = I_1 + I_2$ + enzovoort
  – $U_{tot} = U_1 = U_2$ = enzovoort
- Als je weerstanden in serie schakelt, wordt de totale weerstand groter. Als je weerstanden parallel schakelt, wordt de totale weerstand kleiner.
- Bij een gemengde schakeling bereken je eerst de totale weerstand. Daarna pas je de formule van Ohm toe op plaatsen waarover je genoeg gegevens hebt of je gebruikt de theorie van serie- en parallelschakelingen.

Opdrachten

41 Formules

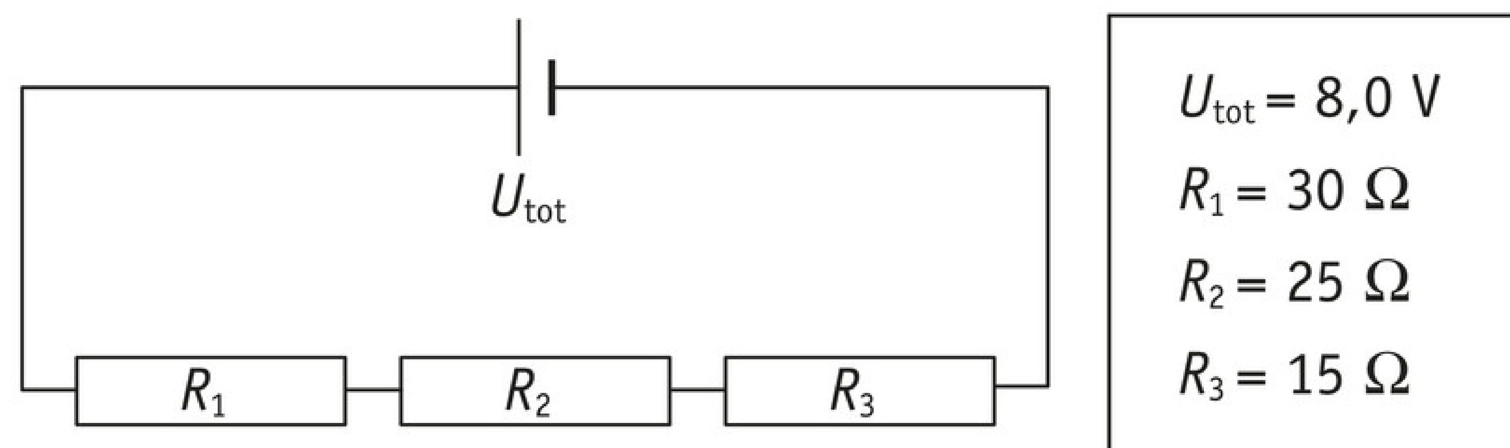
Beantwoord de volgende vragen.

a Met welke formules bereken je de totale weerstand, de totale spanning en de totale stroomsterkte in een serieschakeling?

b Met welke formules bereken je de totale weerstand, de totale spanning en de totale stroomsterkte in een parallelschakeling?

42 Serieschakeling

Gegeven is de schakeling in figuur 52.



▲ **figuur 52** een serieschakeling

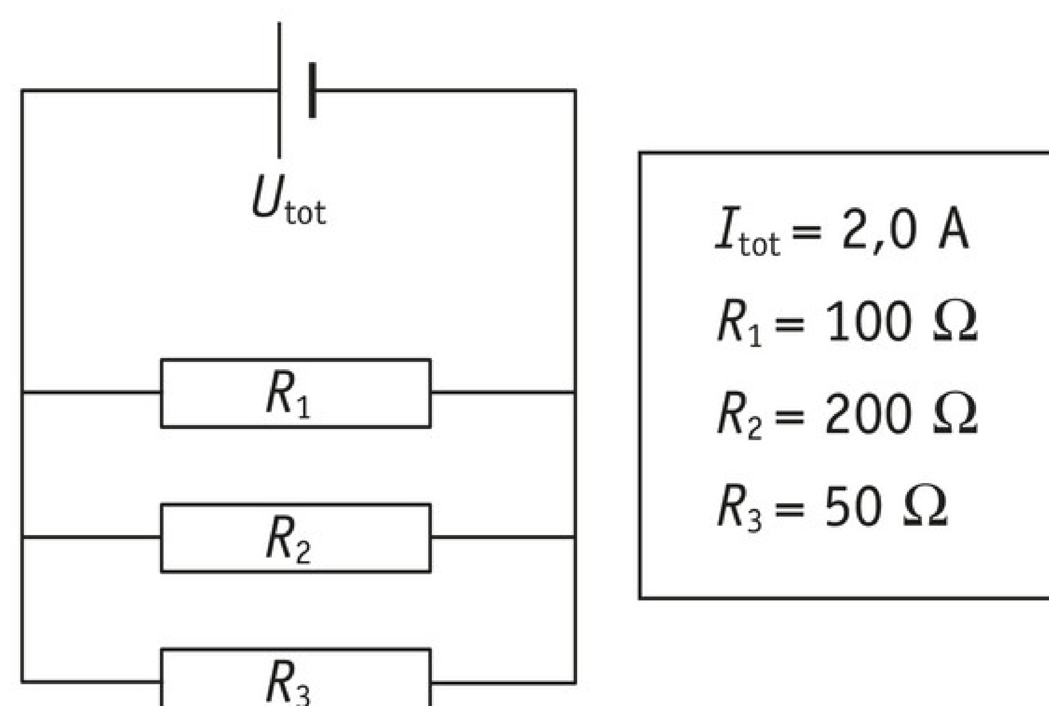
a Bereken de totale weerstand.

b Bereken de stroom door R_2.

c Bereken de spanning over R_1.

43 Parallelschakeling

Gegeven is de schakeling in figuur 53.



▲ **figuur 53** een parallelschakeling

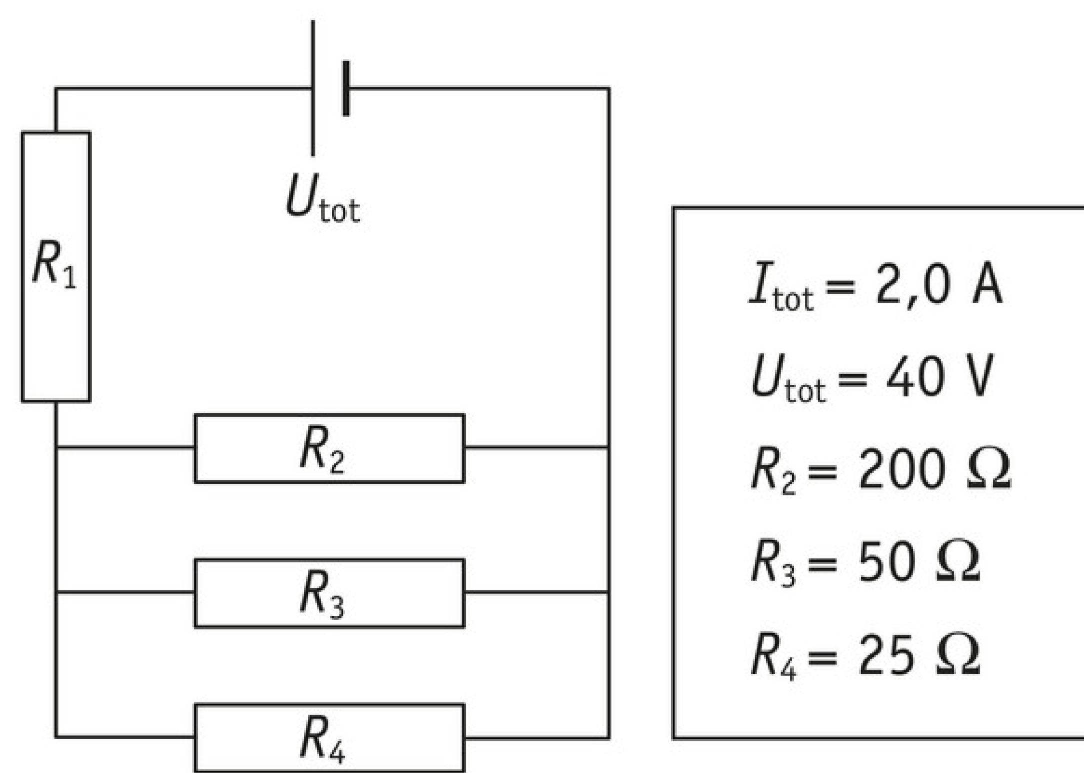
a Bereken de totale weerstand.

b Bereken de totale spanning.

c Bereken de stroom door R_2.

d De weerstand R_1 wordt verwijderd uit de schakeling.
Leg uit of de totale weerstand dan kleiner of groter wordt of gelijk blijft.

44 Gemengde schakeling [1]
Gegeven is de schakeling in figuur 54.

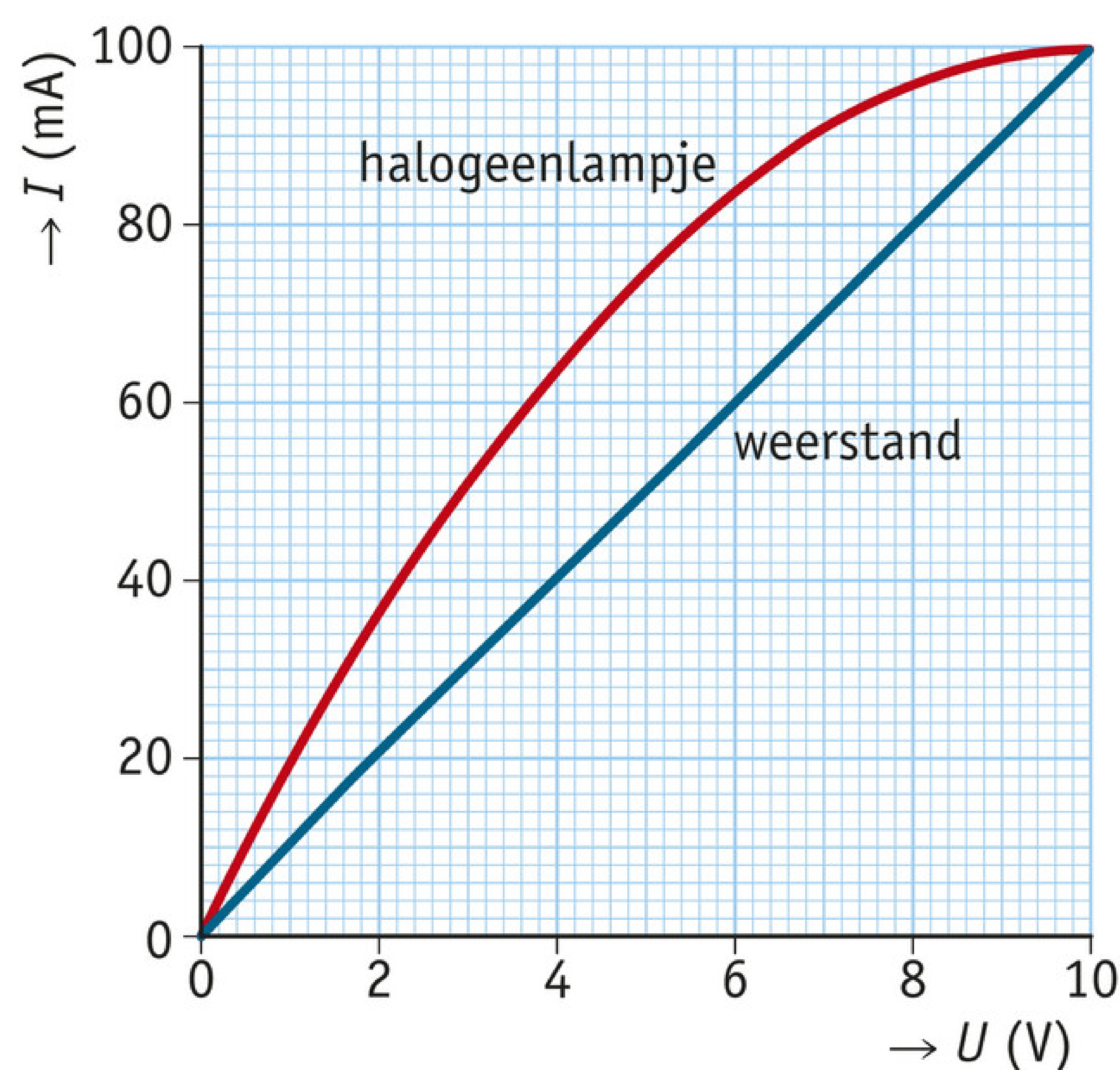


▲ **figuur 54** een gemengde schakeling

a Bereken de spanning over R_1.
b Bereken de spanning over R_2.
c Bereken de stroomsterkte door R_4.

De weerstand R_1 wordt verwijderd uit de schakeling.
d Leg uit of de totale weerstand dan kleiner of groter wordt of gelijk blijft.
e Leg uit of de totale stroom I_{tot} die de spanningsbron dan levert, kleiner of groter wordt of gelijk blijft.

45 Weerstand en halogeenlampje
Een weerstand en een halogeenlampje zijn parallel geschakeld aan een regelbare spanningsbron. Van beide componenten is een (I,U)-diagram gemaakt (figuur 55).



▲ **figuur 55** de (I,U)-karakteristiek van een weerstand en halogeenlampje

a Bepaal de stroomsterkte die de spanningsbron levert bij een spanning van 6,0 V als het halogeenlampje en de weerstand parallel geschakeld zijn aan de spanningsbron.
b Bepaal de stroomsterkte die de spanningsbron levert bij een spanning van 6,0 V als het halogeenlampje en de weerstand in serie geschakeld zijn met de spanningsbron.
c Bereken voor opdracht a en b hoe groot de totale weerstand is.

46 Kabelhaspel

Aan het uiteinde van een kabelhaspel (een oprolbaar snoer) met koperen aders ($d_{koperdraad}$ = 1,0 mm) worden vier dezelfde lampen parallel aangesloten. De andere kant wordt verbonden met een stopcontact (230 V). De weerstand van de totale kabelhaspel bedraagt 0,40 Ω. Aan het uiteinde van de kabelhaspel wordt met een spanningsmeter 228 V gemeten.

a Teken de schakeling en geef daarin duidelijk aan waar de spanningsmeter, de lampen en het stopcontact zijn.

b Bereken de lengte van het snoer op de kabelhaspel.

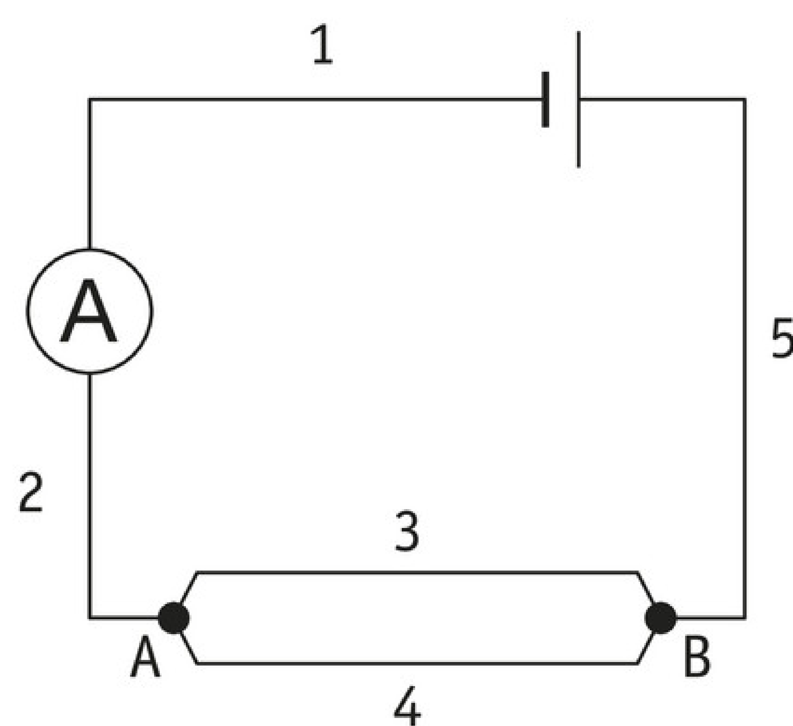
c Bereken de weerstand van één lamp.

47 Koperen snoeren

Tijdens een natuurkundepracticum werkt François met koperen snoeren die elk een doorsnede van 0,25 mm² en een weerstand van 0,041 Ω hebben.

a Bereken de lengte van een snoer.

b Met vijf snoeren bouwt François de elektrische schakeling van figuur 56. Hij stelt de spanningsbron in op 1,2 V.



▲ **figuur 56** de elektrische schakeling van François

Bereken de stroomsterkte die de stroommeter aanwijst.

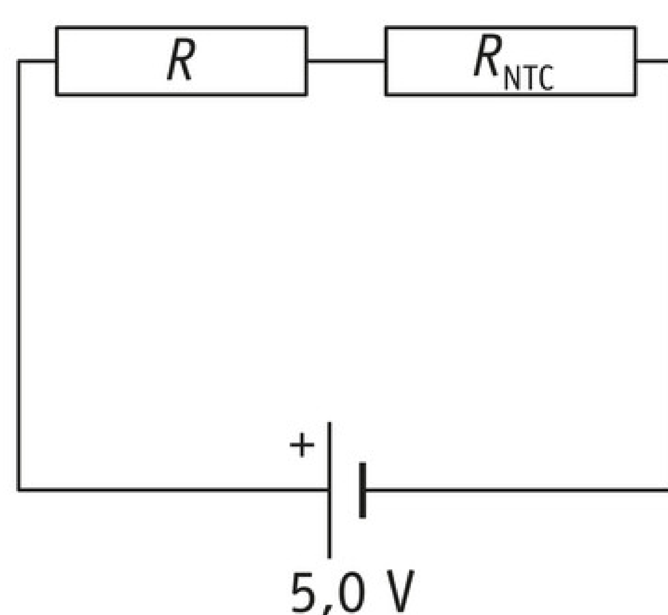
c François sluit over punt A en B een spanningsmeter aan.
Bereken de spanning die de spanningsmeter aanwijst.

48 Oven

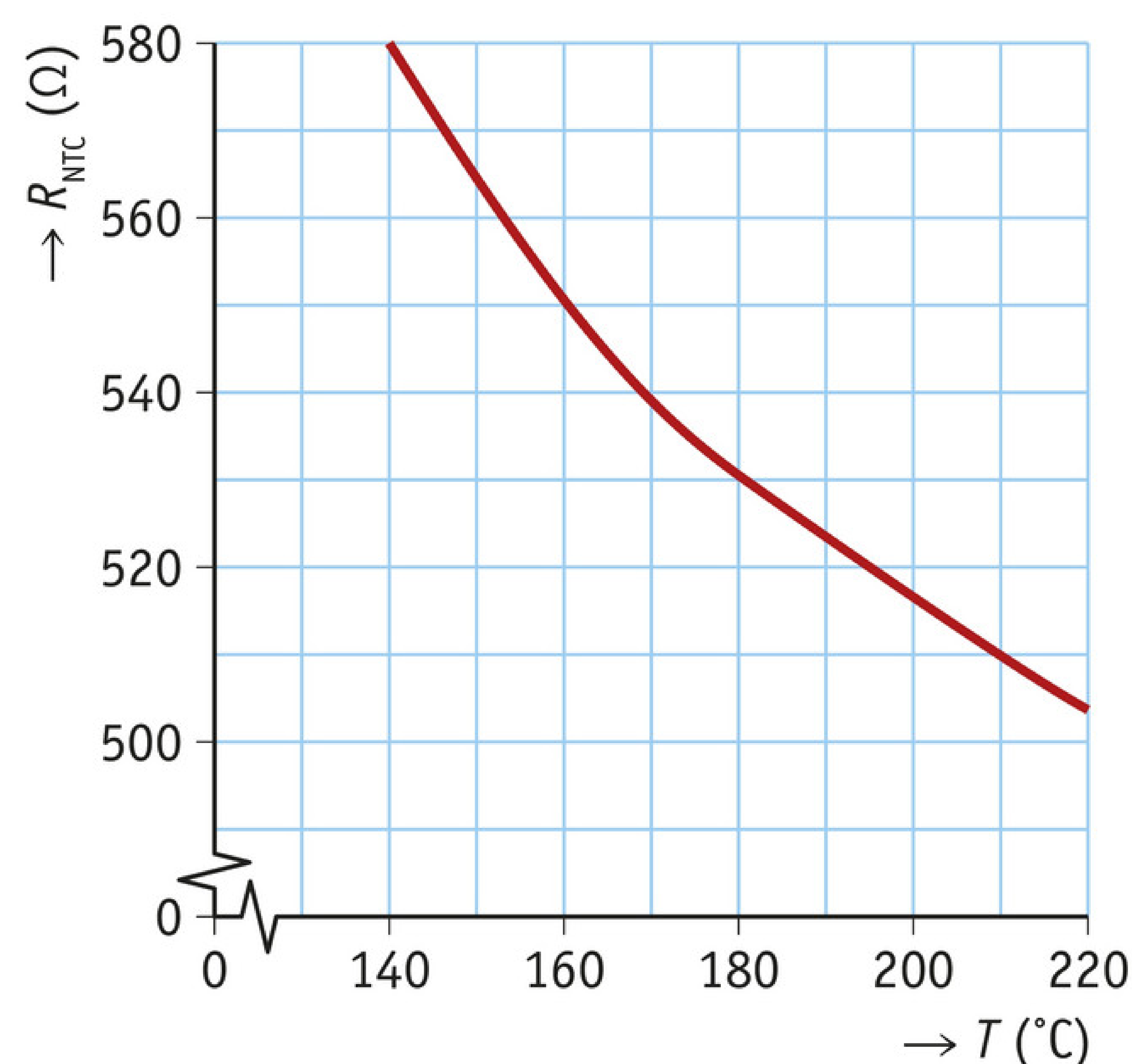
Om de temperatuur in een oven constant te houden, wordt gebruikgemaakt van een NTC-weerstand. De NTC-weerstand wordt met een weerstand *R* in serie geschakeld (figuur 57). Je ziet het (*R*,*T*)-diagram van de NTC-weerstand in figuur 58. Bij een temperatuur van 210 °C is de spanning over weerstand *R* 1,5 V.

a Bepaal de weerstand van *R*.

b Leg uit dat de spanning over weerstand *R* stijgt als de temperatuur stijgt.

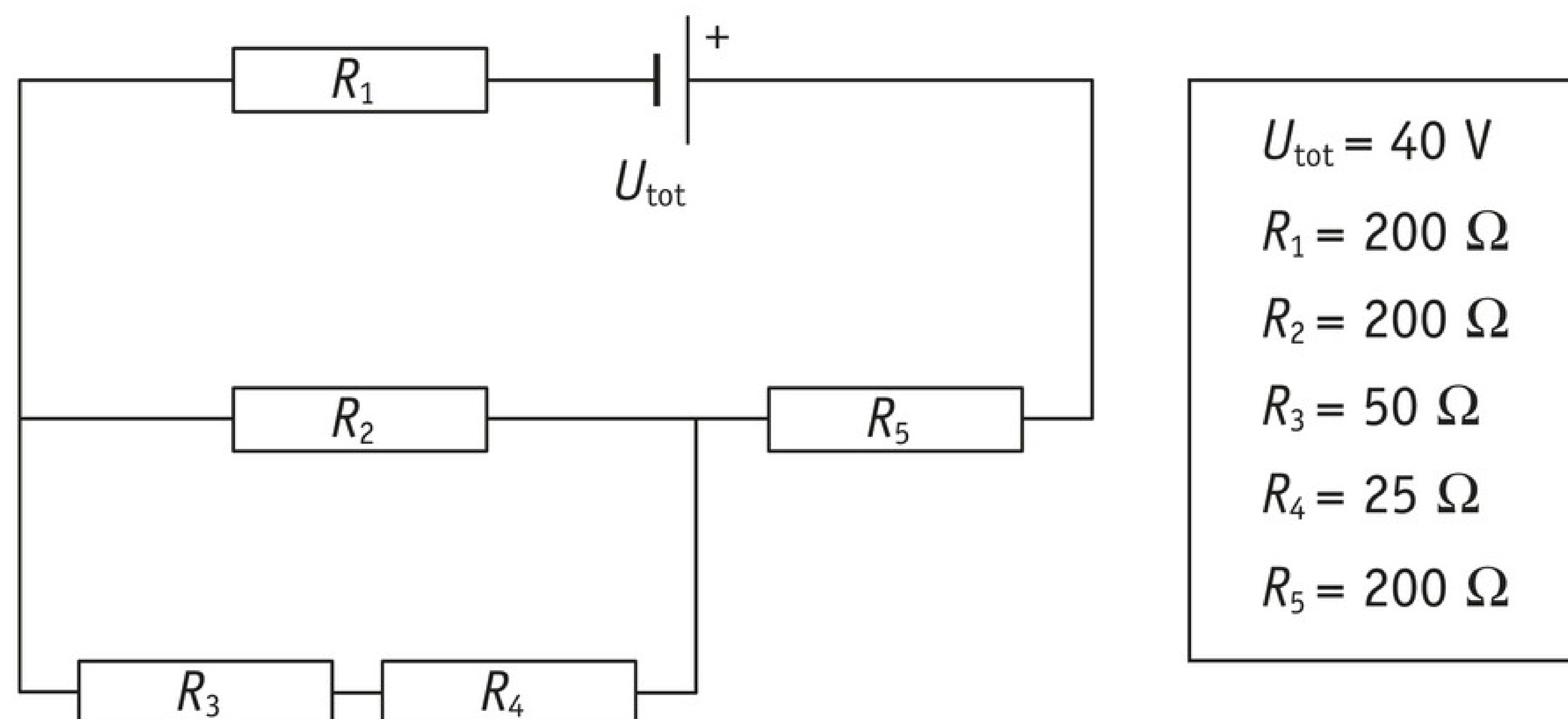


▲ **figuur 57** de elektrische schakeling



▶ **figuur 58** de (*R*,*T*)-karakteristiek van de NTC-weerstand

+49 Gemengde schakeling [2]
Gegeven is de schakeling in figuur 59.



▲ **figuur 59** een gemengde schakeling

a Bereken de totale weerstand.
b Bereken de stroomsterkte door R_3.
c Bereken de spanning over R_4.
d Bereken de stroomsterkte door R_5.

7 Elektriciteit in huis

In deze paragraaf leer je:
- warmteontwikkeling ten gevolge van stroom kennen;
- de begrippen 'overbelasting' en 'kortsluiting' kennen.

Achter stopcontacten, of wandcontactdozen zoals ze officieel heten, bevindt zich een netwerk van elektriciteitsdraden. Om te voorkomen dat er brand of andere gevaarlijke situaties ontstaan, is de elektrische installatie in huis goed beveiligd.

Warmteontwikkeling

De weerstand van een elektriciteitsdraad hangt af van de dikte, de lengte en het materiaal waarvan de draad is gemaakt. Voor elektriciteitsdraden wordt vooral koperdraad gebruikt, omdat koper een kleine soortelijke weerstand heeft, kleiner dan bijvoorbeeld ijzer. Als er stroom door een elektriciteitsdraad gaat, wordt de draad warm. Dit komt doordat de elektronen die door de draad gaan, hinder (weerstand) ondervinden. Om uit te rekenen hoeveel elektrische energie er in de koperdraad per seconde in warmte wordt omgezet, moet je weten hoe groot de spanning *over* de draad en de stroomsterkte *door* de draad is.
De elektrische energie die per seconde in warmte wordt omgezet, is het **elektrisch vermogen**.

Dit kun je berekenen met de formule:

$P = U \cdot I$

Hierin is:
- *P* het vermogen van het apparaat in voltampère (V A); dat is gelijk aan watt (W);
- *U* de spanning over het apparaat in volt (V);
- *I* de stroomsterkte door het apparaat in ampère (A).

De spanning over de draad kun je uitrekenen als je weet hoe groot de weerstand van de draad en de stroomsterkte door de draad zijn ($U = I \cdot R$).

Overbelasting

Alle stopcontacten en lichtpunten thuis zijn parallel geschakeld. Dit betekent dat over elk stopcontact en lichtpunt een spanning van 230 V staat. Als er te veel elektrische apparaten tegelijk aanstaan, kan de stroom door een draad in de leidingen te groot worden: de draad is **overbelast**. De draad gaat dan als gevolg van de ontwikkelde warmte gloeien. Hierdoor kan het isolerende materiaal om de draad vlam vatten. Als de stroomdraad zich in een elektriciteitsbuis in een muur bevindt, ontstaat er een gevaarlijke situatie: je kunt de brand in het begin nog niet zien, alleen ruiken. Na verloop van tijd vat het isolatiemateriaal in de muur vlam en kan het vuur overslaan op andere brandbare materialen. Het blussen van een dergelijke brand is moeilijk, omdat de brandhaard slecht bereikbaar is.
Overbelasting kan dus heel gevaarlijk zijn. Om de overbelasting zo kort mogelijk te laten duren, worden er zekeringen opgenomen in elektrische schakelingen. Een **zekering** schakelt de stroom uit als de stroom door de zekering groter wordt dan een vooraf ingestelde waarde. Zekeringen vind je in verschillende apparaten, zoals in een autolader van een telefoon (figuur 60), maar ook thuis in de meterkast.

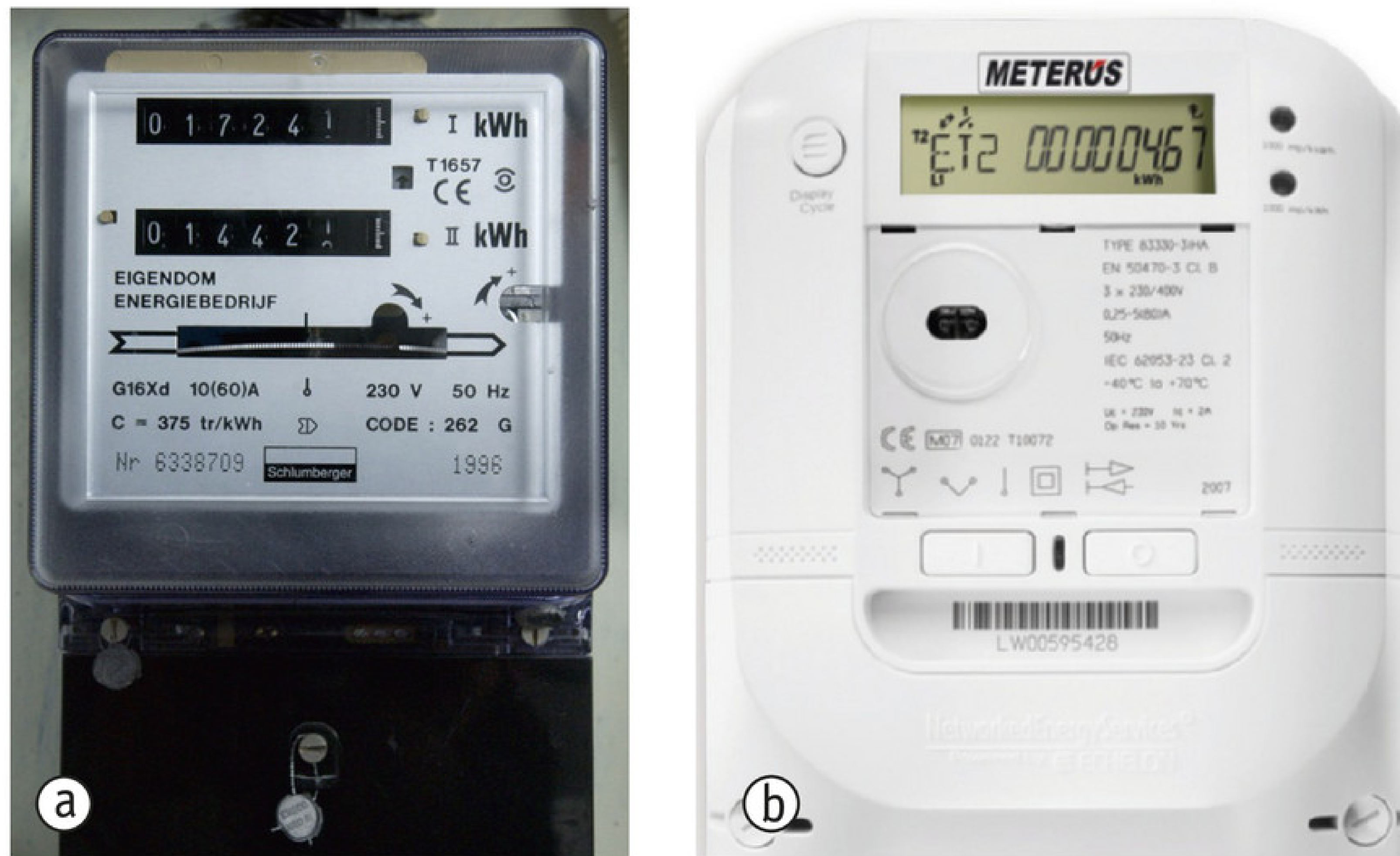


▲ **figuur 60** een telefoonlader voor de auto

De meterkast

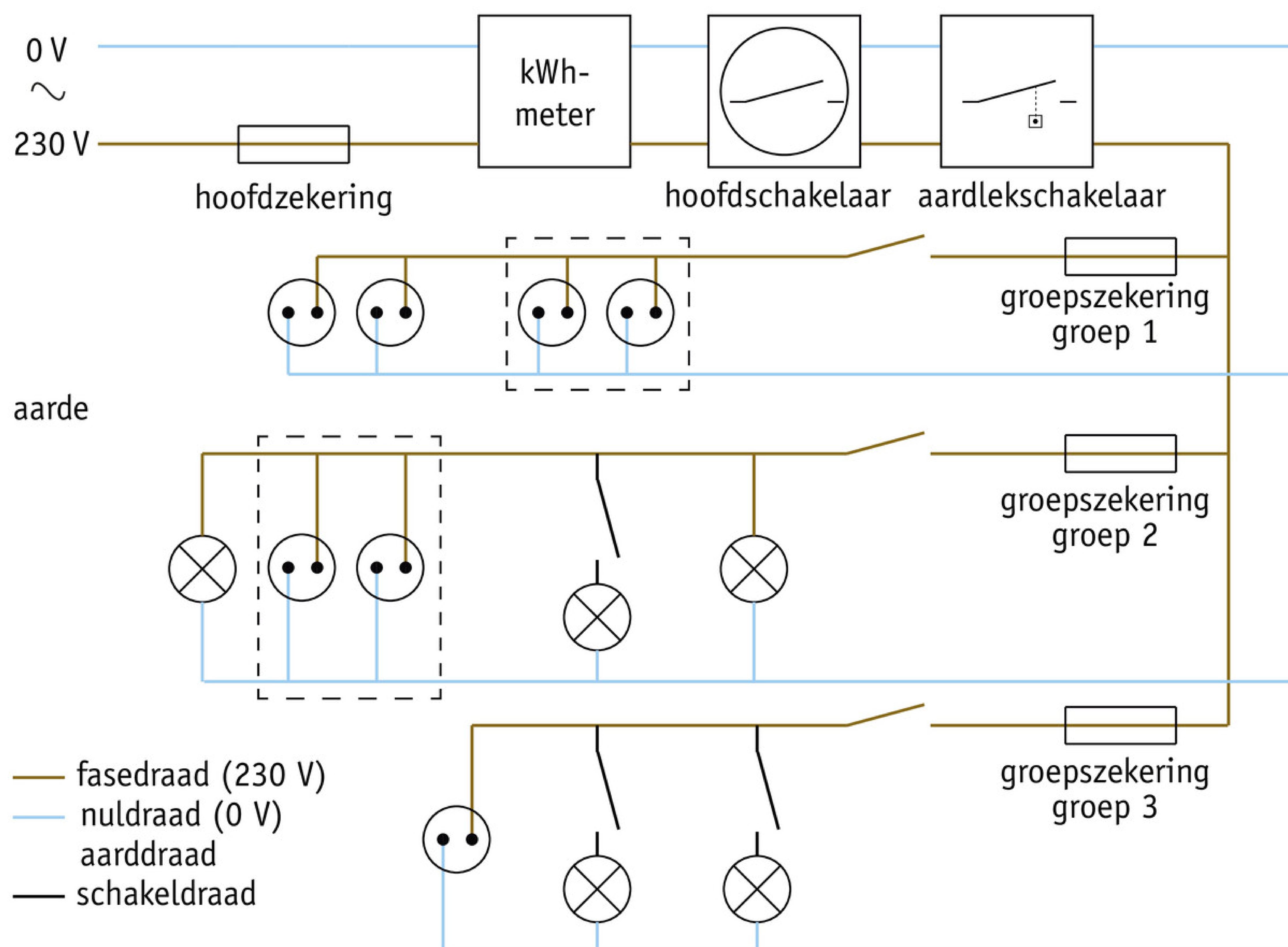
Elk huis heeft een meterkast. In de meterkast bevinden zich de aansluitingen en meters van de nutsvoorzieningen. Nutsvoorzieningen zijn bedrijven die iets produceren, of diensten leveren van algemeen nut. Daaronder vallen bijvoorbeeld telefonie, kabel, glasvezel, elektriciteit, water en gas.

Met een kilowattuurmeter (kWh-meter) wordt de hoeveelheid omgezette elektrische energie gemeten. De kWh-meter is vaak een dubbele meter: een dag- en nachtmeter. ’s Nachts wordt er minder elektrische energie verbruikt dan overdag. Om mensen te stimuleren de wasmachine of vaatwasser ’s nachts te laten werken, is er voor de nacht een goedkoper tarief. Zo zijn de schommelingen in het energieverbruik minder groot. In figuur 61 zie je een analoge en een digitale kWh-meter.



▲ **figuur 61** een analoge kWh-meter (a) en een digitale kWh-meter (b)

Naast de kWh-meter zijn er in de meterkast achtereenvolgens een hoofdschakelaar, een aardlekschakelaar, groepszekeringen en groepsschakelaars te vinden. In figuur 62 zie je hoe de verschillende componenten met elkaar verbonden zijn. De hoofdzekering werkt net als een gewone zekering, maar als de hoofdzekering stuk is, moet iemand van de energiemaatschappij langskomen om deze te vervangen. Dit geldt ook voor de kWh-meter. Beide apparaten zijn voorzien van een veiligheidsloodje aan een touwtje, dat moet worden verbroken om de componenten te vervangen. Die loodjes zijn geplaatst om te voorkomen dat er wordt gefraudeerd met meterstanden of dat er illegaal energie wordt afgetapt. Met de hoofdschakelaar schakel je alle elektriciteit in huis uit.



▲ **figuur 62** voorbeeld van een schakelschema in huis

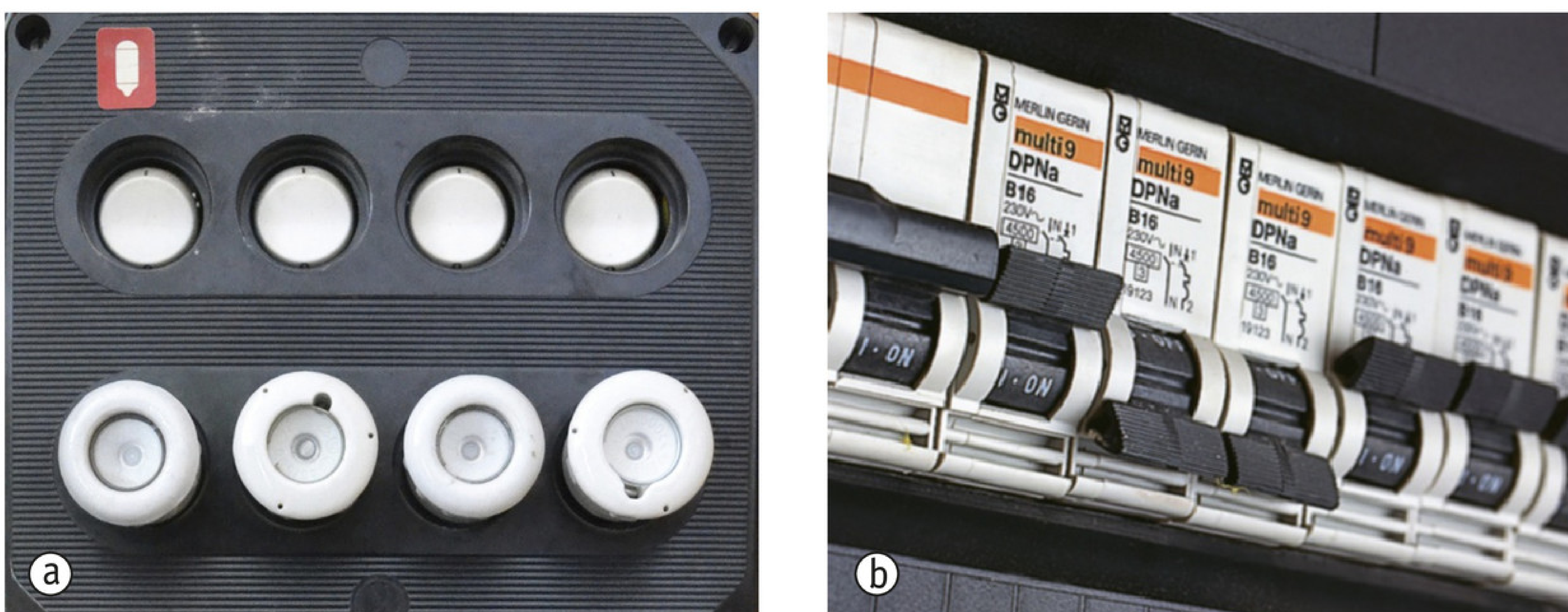
Voorbij de hoofdschakelaar is de aardlekschakelaar geïnstalleerd. De **aardlekschakelaar** registreert of de stroomsterkten in de aan- en afvoerende draad aan elkaar gelijk zijn. Een verschil betekent dat er ergens stroom 'weglekt'. De aardlekschakelaar onderbreekt het stroomcircuit als het verschil groter is dan 30 mA. Een aardlekschakelaar zie je in figuur 63.



▲ **figuur 63** een aardlekschakelaar

Groepen

Na de aardlekschakelaar vertakt het stroomcircuit in huis zich in verschillende groepen. Elke groep bevat een zekering met een groepsschakelaar. In oudere installaties bevinden zich glas- of smeltzekeringen (figuur 64a). Zo'n zekering smelt als de stroom die erdoor gaat, te groot wordt. Nieuwere installaties maken gebruik van automatische zekeringen (figuur 64b). Als die automaat een te grote stroom detecteert, schakelt deze de spanning af.

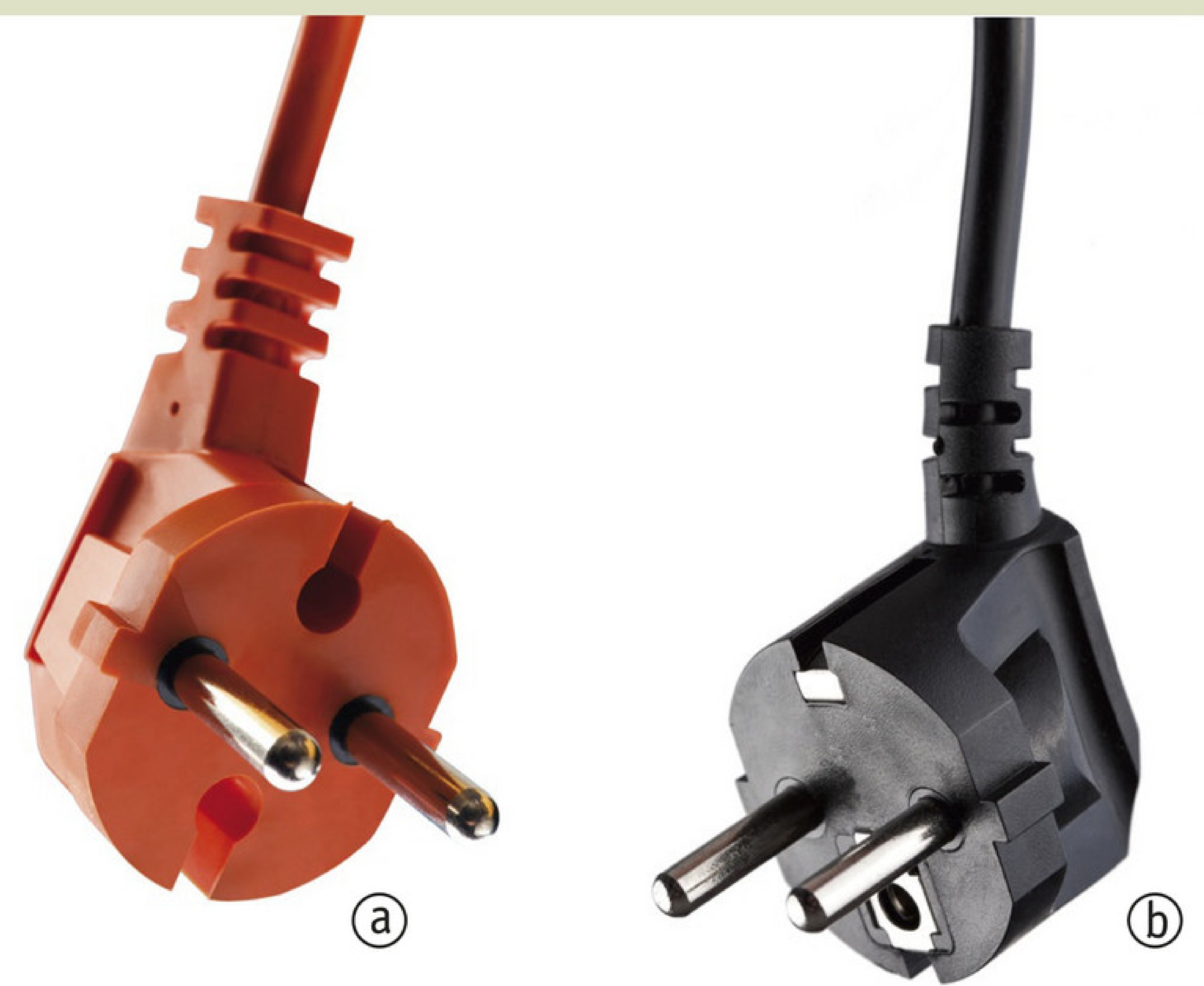


▲ **figuur 64** een smeltzekering met aparte schakelaar (a) en een automatische zekering (b)

Het werken met groepen heeft een aantal voordelen. Als de elektriciteit in een bepaalde groep wordt uitgeschakeld door de groepszekering, is er in de rest van het huis nog wel elektriciteit. En als je in de keuken een nieuwe lamp wilt ophangen, schakel je alleen de groep van de keuken uit. Je moet er dan wel zeker van zijn dat je de juiste groepsschakelaar kiest.

Om te controleren of er nog spanning staat op de draden die naar de lamp gaan, maak je gebruik van een spanningzoeker. Dit is een soort schroevendraaier met een lampje in het handvat die je tegen de elektriciteitsdraad houdt. Als er spanning op de draad staat, gaat het lampje in de schroevendraaier branden. Op dat moment lekt er stroom weg via jouw lichaam naar de aarde. Doordat deze stroom kleiner is dan 30 mA, grijpt de aardlekschakelaar niet in. De stroom is zo klein dat je er niets van merkt en er geen schade van ondervindt. Controleer altijd eerst of de spanningzoeker werkt in een functionerend stopcontact.

Apparaten met een metalen behuizing, met bewegende delen of met elektrische onderdelen die in aanraking kunnen komen met water, hebben meestal een stekker met randaarde (figuur 65b). De randaarde zijn de metalen strips aan de buitenzijde van de stekker.



▶ **figuur 65** een stekker zonder randaarde (a) en een stekker met randaarde (b)

Bij een apparaat met een metalen behuizing wordt de randaarde van de stekker verbonden met de behuizing. Als door een fout in het apparaat de stroomdraad in contact komt met de metalen behuizing, komt de behuizing maar kortstondig onder spanning te staan. De aardlekschakelaar grijpt namelijk in zodra er een bepaalde hoeveelheid stroom weglekt. Doordat de weerstand in dit geval erg klein is, wordt de lekstroom heel groot. Dit biedt een extra zekerheid. Mocht de aardlekschakelaar onverwachts niet ingrijpen, dan zal uiteindelijk de zekering de stroomkring verbreken. De zekering is echter trager dan de aardlekschakelaar, dus 'wint' de aardlekschakelaar meestal.

Een zekering verbreekt de stroomkring niet alleen bij overbelasting, maar ook bij kortsluiting. **Kortsluiting** ontstaat als stroom een andere weg kan nemen, met een weerstand van bijna nul ohm. Dit kan bijvoorbeeld gebeuren als de isolatielaag om twee stroomdraden beschadigd is, waardoor de draden contact maken (figuur 66).



▲ **figuur 66** Als je deze kabel gebruikt, ontstaat er kortsluiting.

Onthoud!

- Een kWh-meter meet het elektrisch energieverbruik.
- Als er stroom door een draad gaat, wordt deze warm. Dit komt doordat de elektronen die door de draad gaan weerstand ondervinden.
- Een zekering schakelt de stroom uit als de stroom door de zekering groter wordt dan een ingestelde waarde.
- De aardlekschakelaar controleert of de stroom in de heen- en teruggaande draden aan elkaar gelijk is en schakelt de spanning af als dit niet het geval is.
- Bij kortsluiting wordt de stroomsterkte te groot, doordat stroom een weg neemt zonder noemenswaardige weerstand.

Opdrachten

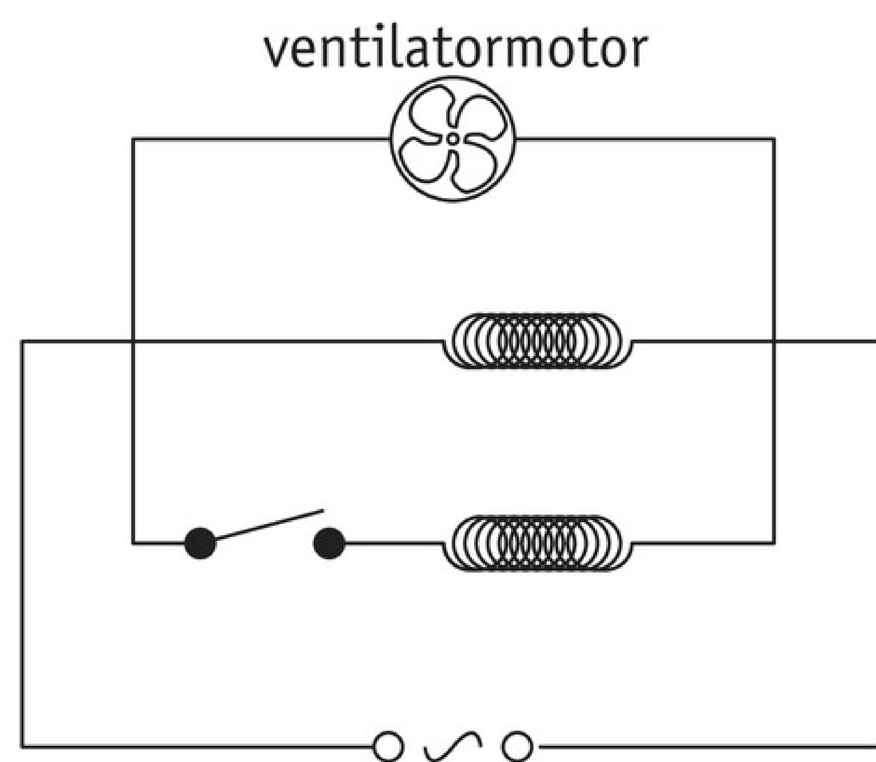
50 Elektriciteit in huis
Beantwoord de volgende vragen.
a Leg uit hoe een zekering werkt.
b Wat is het verschil tussen kortsluiting en overbelasting?
c Waarom wordt een draad warm als er een stroom doorheen gaat?
d Leg uit wat er gebeurt als je een schakelaar parallel schakelt aan het stopcontact en de schakelaar vervolgens sluit.

51 Weerstand
Beantwoord de volgende vragen.
a De hoeveelheid warmte die per seconde ontstaat, is gelijk aan $P = I^2 \cdot R$.
Leid dit af met behulp van de formule van Ohm en de formule van vermogen.
b Als je een kabelhaspel als verlengsnoer gebruikt, is het belangrijk om deze helemaal af te rollen.
Leg uit waarom.

52 Telefoonlader
Op de lader van je mobiele telefoon staat op het typeplaatje: 5,0 V; 0,70 A. Dit is de spanning en stroom waarmee een mobiele telefoon werkt.
a Bereken het vermogen dat de telefoonlader kan leveren.
b Van het lichtnet naar de oplader loopt een stroom.
Bereken de grootte van deze stroom, ervan uitgaande dat het vermogen gelijk is aan dat van de telefoon.
c Wat kun je zeggen over het verband tussen stroomsterkte en spanning bij een gelijkblijvend vermogen?

53 Koffiezetapparaat
Het verwarmingselement van een koffiezetapparaat heeft een vermogen van $1{,}60 \cdot 10^3$ W. De netspanning is 230 V.
a Laat zien dat de weerstand van het verwarmingselement 33,1 Ω is.
b De draad van het verwarmingselement is gemaakt van nichroom en heeft een diameter van 0,22 mm.
Bereken de lengte van de draad.

54 Ventilatorkachel
Een ventilatorkachel wordt aangesloten op een netspanning van 230 V. De kachel heeft twee standen waarbij verwarmde lucht wordt uitgeblazen. Als de schakelaar in figuur 67 openstaat (stand 1), is de lucht lauw. Het elektrisch vermogen van de ventilatorkachel is dan 0,70 kW. Als de schakelaar wordt gesloten (stand 2), is de lucht warm. Het elektrisch vermogen is dan 1,3 kW.



▲ **figuur 67** schakelschema van een ventilatorkachel

De ventilatorkachel wordt op een aparte groep met een zekering van 16 A aangesloten.

a Laat met een berekening zien of bij gebruik van de ventilatorkachel de zekering het stroomcircuit onderbreekt.

Beide verwarmingsspiralen hebben hetzelfde elektrisch vermogen.

b Toon aan dat het elektrisch vermogen van de ventilator 0,1 kW is.

c Laat zien dat de weerstand van een verwarmingsspiraal 88 Ω is.

d Een verwarmingsspiraal kan doorbranden als een plek op de spiraal dun is geworden. De hoeveelheid elektrische energie die per seconde in warmte wordt omgezet, is het grootst op de plek waar de spiraal het dunst is.
Leg dit uit met behulp van de formule $P = I^2 \cdot R$.

Eindopdracht

55 Schrikdraadinstallatie

Om schapen binnen een omheining te houden, plaatst een herder een afrastering van schrikdraad. De spanning over de draad is afkomstig van een accu die overdag wordt opgeladen met een zonnepaneel. Het paneel bestaat uit 40 geschakelde zonnecellen die elk 0,30 V spanning leveren. Op een zonnige dag levert het paneel bij een spanning van 12 V een stroomsterkte van 0,42 A.

a Leg uit of de zonnecellen in serie of parallel geschakeld zijn.

b Bereken het aantal elektronen dat per seconde door de zonnecellen stroomt.

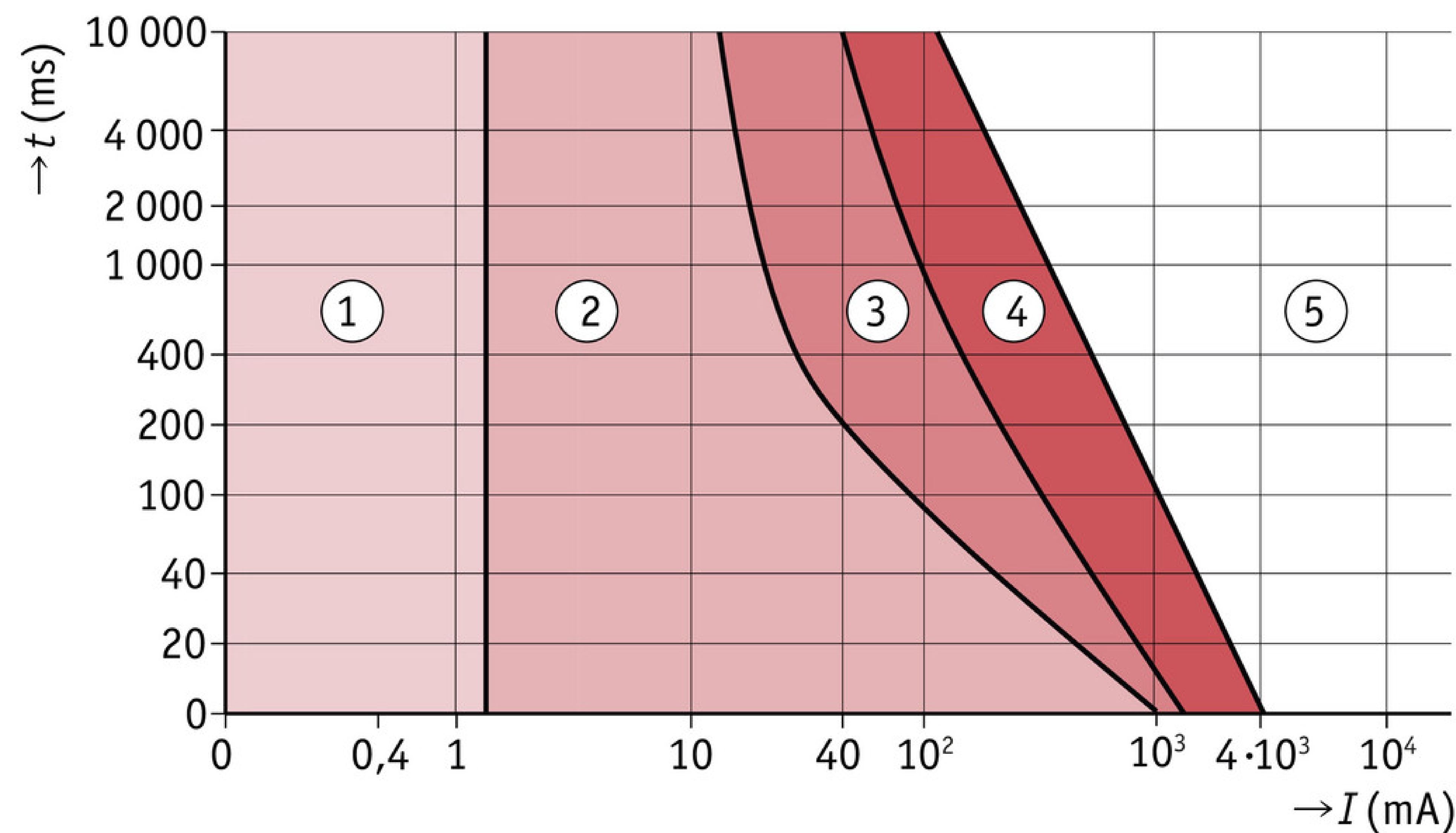
c Toon aan dat het paneel een maximaal elektrisch vermogen van 5,0 W kan leveren.

d Op de accu staat: 9,0 V, 55 Ah. Dat wil zeggen dat een 'volle' accu bij 9,0 V spanning gedurende 1 uur een stroomsterkte van 55 A kan leveren of gedurende 11 uur een stroomsterkte van 5,0 A, enzovoort. Na het afgeven van deze 55 Ah is de batterij leeg.
Bereken hoelang het duurt voordat een lege accu door het zonnepaneel op zonnige dagen volledig is opgeladen.

e Als schrikdraad wordt een 280 m lange roestvrijstalen draad gebruikt met een weerstand van 20 Ω.
Bereken de dikte van de draad.

f De spanning van de accu wordt omgevormd tot hoogspanningspulsen. Tijdens de kortdurende pulsen staat over de schrikdraad een spanning van $1{,}0 \cdot 10^3$ V.
Op een bepaald moment raakt de herder de schrikdraad met zijn vinger aan. De totale elektrische weerstand van zijn lichaam kan worden opgevat als drie serieweerstanden: de contactweerstand tussen de draad en de vinger (4,0 kΩ), zijn lichaam (1,5 kΩ) en de contactweerstand tussen de schoenen en de grond (15 kΩ).
Bereken de stroomsterkte door het lichaam.

g Hoe gevaarlijk een elektrische stroom is die door het lichaam gaat, hangt niet alleen af van de grootte van de stroom, maar ook van hoelang die stroom door het lichaam loopt. Figuur 68 toont hoe stroomsterkte en tijd met elkaar samenhangen. Je ziet vijf gebieden in het diagram. In gebied 1 zijn er geen gevolgen voor het lichaam. In gebied 2 voel je pijn, maar zijn er geen blijvende gevolgen voor het lichaam. In gebied 3 krijg je ademhalingsproblemen en zware krampen. In gebied 4 heb je kans op een hartstilstand. In gebied 5 krijg je vrijwel zeker een hartstilstand.
Bepaal met behulp van de figuur in hoeverre de berekende stroomsterkte bij opdracht f schadelijk is.



▲ **figuur 68** Hoe gevaarlijk is stroom door het lichaam?

Maak de online diagnostische toets (Test jezelf).

8 Practicum

EXPERIMENT 1 De (I,U)-karakteristiek van een weerstand en een gloeilampje (onderzoekspracticum)

Inleiding
Voor een weerstandje geldt de wet van Ohm en voor een gloeilamp niet.
In dit experiment ga je een (I,U)-diagram maken voor twee gloeilampen en twee weerstandjes.

Onderzoeksvraag
Hoe zien de (I,U)-karakteristieken van een weerstand en van een gloeilamp eruit?

Benodigdheden
voedingskastje; vijf kabeltjes; twee verschillende weerstanden; twee verschillende gloeilampjes; stroommeter; spanningsmeter

Uitvoering
- Schakel het eerste weerstandje in serie met een stroommeter en het voedingskastje.
- Schakel de spanningsmeter parallel aan het weerstandje.
- Verander de spanning van het voedingskastje in stapjes van 0,25 V beginnend bij 0 V en eindigend bij 3,0 V en noteer de gemeten stroom bij elke spanning.
- Herhaal de voorgaande stappen voor het tweede weerstandje en de twee verschillende gloeilampen.

Verwerking

1 Maak een (I,U)-diagram van de meetgegevens voor elke component.
2 Wat valt je op aan de (I,U)-grafiek van de weerstandjes als je de vorm van de grafiek vergelijkt met die van de gloeilampen?
3 Bepaal de weerstand van elke component bij een spanning van 0,5 V en 2,0 V uit het gemaakte (I,U)-diagram.
4 Wat valt je op aan de berekende weerstandswaarden?

Conclusie
5 Beantwoord de onderzoeksvraag.

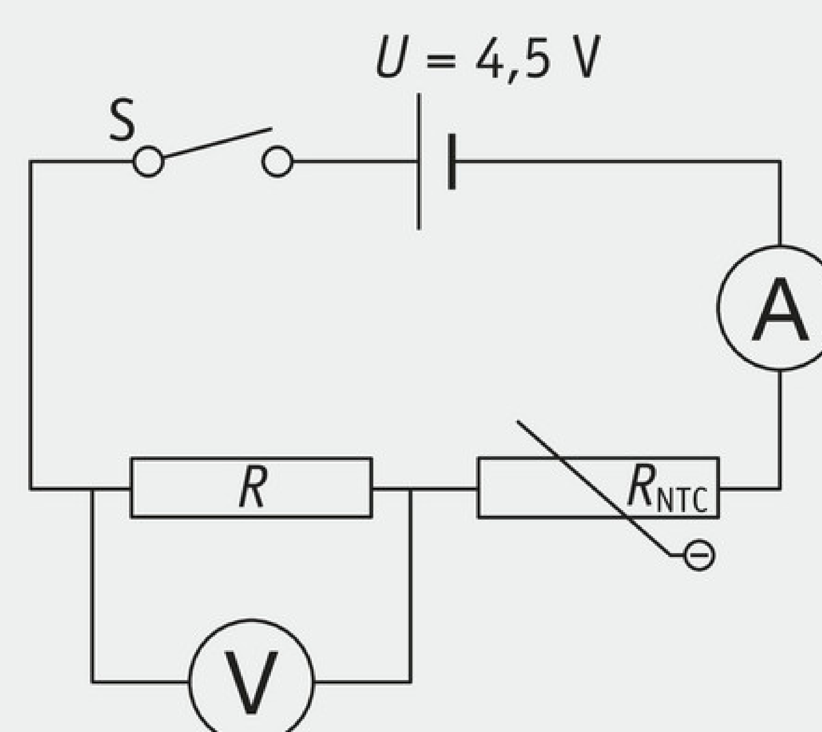
EXPERIMENT 2 Temperatuurbepaling met een NTC (onderzoekspracticum)

Inleiding
De vloeistofthermometer heeft voor nauwkeurige temperatuurbepalingen plaatsgemaakt voor de elektrische thermometer. In de elektrische thermometer wordt gebruikgemaakt van een bijzondere eigenschap van de NTC-weerstand: de weerstandswaarde van de NTC is afhankelijk van de temperatuur.

Onderzoeksvraag
Wat is het verband tussen de weerstand van de NTC en de temperatuur?

Benodigdheden
batterij van 4,5 V; NTC-weerstand; weerstand van 100 Ω; stroommeter; spanningsmeter; schakelaar; snoeren; vier krokodillenklemmen; bekerglas van 500 mL; vloeistofthermometer –10 °C tot +110 °C; thermoskan met heet water; lucifers; stopwatch

Uitvoering
Bouw de schakeling van figuur 69.



▲ **figuur 69** de opstelling van experiment 2

Meetserie A
- Vul het bekerglas met 100 mL kraanwater en leg de NTC in het water in het bekerglas.
- Meet de temperatuur van het water met de vloeistofthermometer, sluit de stroomkring en lees de

spannings- en stroommeter af. Neem tabel 3 over en noteer de meetwaarden.

- Giet 50 mL heet water uit de thermoskan bij het water in het bekerglas en herhaal de meting tien keer. Noteer steeds de temperatuur en de meetwaarden van de spannings- en stroommeter.

▼ **tabel 3** temperatuurstijging door water

T (°C)	*U* (V)	*I* (A)	resultaten

Meetserie B

- Haal de NTC uit het water, laat hem even in kraanwater afkoelen en droog hem af.
- Verwarm de NTC door hem met een lucifer te verhitten.
- Houd de lucifervlam een paar centimeter onder de NTC. Start de tijd als de brandende lucifer onder de NTC wordt gehouden en lees om de 10 s spanning *U* over weerstand *R* af. Neem tabel 3 over en noteer de meetwaarden. Je meting eindigt 1,0 min nadat de lucifer is gedoofd.

Verwerking

1 Bereken de weerstand van de NTC bij alle metingen van meetserie A en noteer de resultaten in de laatste kolom van tabel 3.
2 Maak een grafiek van de weerstand als functie van de temperatuur voor meetserie A.
3 Bereken de weerstand van de NTC bij alle metingen van meetserie B en noteer de resultaten in de laatste kolom van tabel 3.
4 Maak een grafiek waarbij je de temperatuur van de NTC uitzet tegen de tijd (meetserie B).
5 Bepaal de toptemperatuur van de NTC bij verwarming door de lucifer en het tijdstip waarop die temperatuur wordt bereikt.
6 Leg uit waarom de NTC veel sneller opwarmt dan afkoelt.
7 Leg uit waarom je de spanning over weerstand *R* meet in plaats van over de NTC.

Conclusie

8 Beantwoord de onderzoeksvraag.

EXPERIMENT 3 Gemengde schakelingen (apparatuurpracticum)

Inleiding

Met drie weerstanden kun je verschillende gemengde schakelingen maken.
In dit experiment ga je twee gemengde schakelingen maken. In deze schakelingen meet je alle stroomsterkten en spanningen. Vervolgens ga je na of de gemeten waarden overeenkomen met wat je theoretisch verwacht.

Onderzoeksvraag

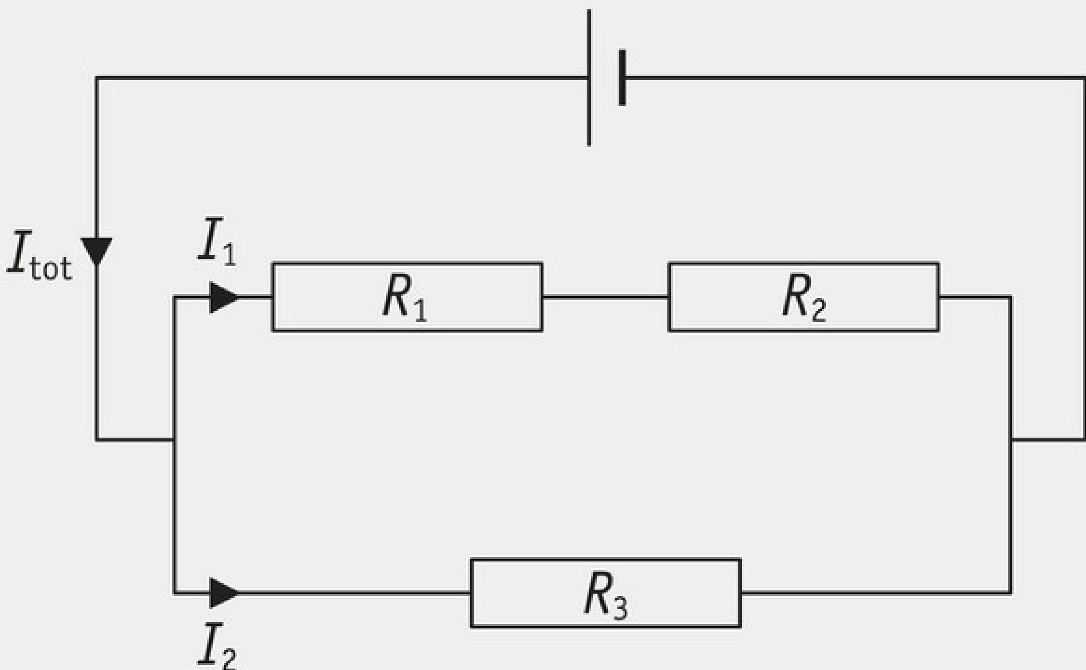
Komen de gemeten stromen en spanningen bij de gemengde schakelingen overeen met de theoretische verwachting?

Benodigdheden

spanningsbron van 6,0 V; spanningsmeter; stroommeter; snoertjes; drie weerstanden: R_1 = 27 Ω, R_2 = 56 Ω en R_3 = 150 Ω (de drie weerstanden mogen ook andere waarden hebben, als de verhouding maar ongeveer klopt)

A Gemengde schakeling 1

- Stel de bronspanning met de spanningsmeter in op 6,0 V en verander deze gedurende het experiment niet meer.
- Maak de schakeling van figuur 70 waarbij je R_1 en R_2 in serie met elkaar schakelt en waarbij je R_3 parallel schakelt aan R_1 en R_2.
- Meet de stroomsterkten I_{tot}, I_1 en I_2.
- Meet de spanning over weerstand R_1.
- Meet de spanning over weerstand R_2.
- Meet de spanning over weerstand R_3.



▲ **figuur 70** een gemengde schakeling van drie weerstanden

Verwerking

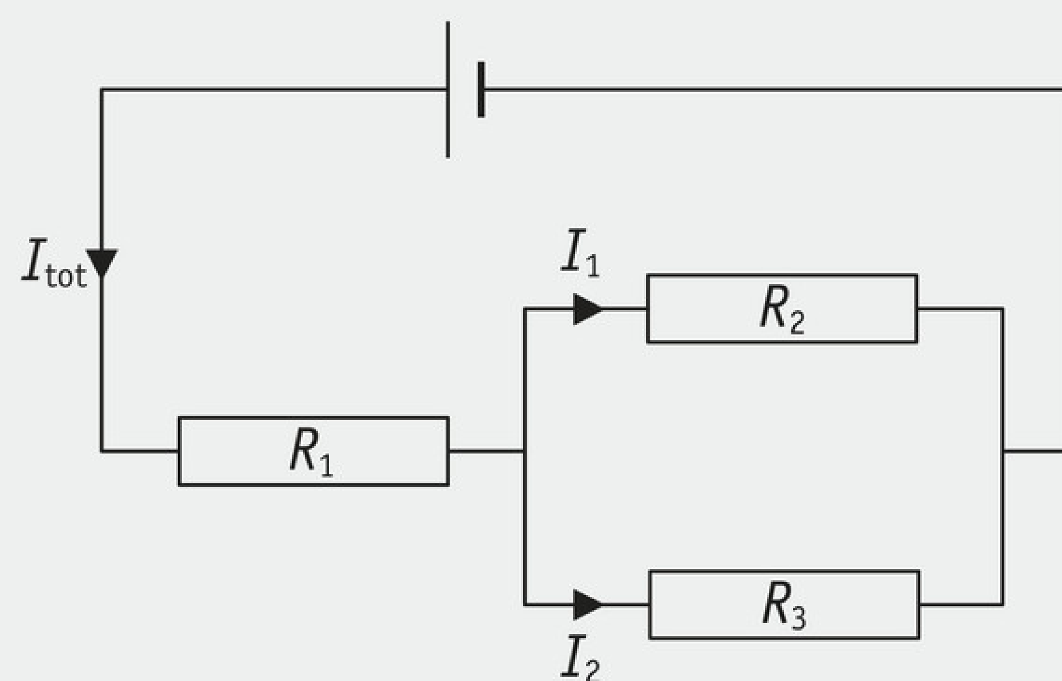
1 Vergelijk de spanning over R_3 met de spanningen over R_1 en R_2. Wat kun je hieruit concluderen?
2 Vergelijk de stroomsterkten I_{tot}, I_1 en I_2 met elkaar. Geldt $I_{tot} = I_1 + I_2$?
3 Bereken met de bronspanning en de weerstandswaarden van R_1, R_2 en R_3 de stroomsterkten I_{tot}, I_1 en I_2. Bereken ook de spanningen over elke weerstand afzonderlijk.
4 Vergelijk de berekende waarden van I_{tot}, I_1 en I_2 en van U_{R1}, U_{R2} en U_{R3} met de gemeten waarden. Komen ze met elkaar overeen?

B Gemengde schakeling 2

- Maak de schakeling van figuur 71 waarbij je R_2 en R_3 parallel schakelt. In serie hiermee schakel je R_1.
- Meet de grootte van de stroom I_{tot}.
- Meet de grootte van de deelstromen I_1 en I_2.
- Meet de spanning over weerstand R_1.
- Meet de spanning over weerstand R_2.
- Meet de spanning over weerstand R_3.

Verwerking

5 Vergelijk de gemeten hoofdstroom met de gemeten stromen I_1 en I_2. Wat kun je hieruit concluderen?



▲ **figuur 71** een tweede gemengde schakeling van weerstanden

6 Vergelijk de spanning over R_2 met de spanning over R_3.
7 Vergelijk de bronspanning met de spanning over de afzonderlijke weerstanden. Wat kun je hieruit concluderen?
8 Bereken met de bronspanning en de weerstandswaarden van R_1, R_2 en R_3 de stroomsterkten I_{tot}, I_1 en I_2. Bereken ook de spanningen over elke weerstand afzonderlijk.
9 Vergelijk de berekende waarden van I_{tot}, I_1 en I_2 en van U_{R1}, U_{R2} en U_{R3} met de gemeten waarden. Komen ze met elkaar overeen?

Conclusie

10 Beantwoord de onderzoeksvraag.

Je docent beslist of je de volgende experimenten uitvoert volgens de instructies of dat je de uitgebreide omschrijving krijgt.

EXPERIMENT 4 Eigenschappen van een draad (begripspracticum)

Inleiding

Er zijn vier eigenschappen die de weerstand van een draad noemenswaardig veranderen. Dit zijn de lengte en dikte van de draad, het materiaal waar de draad van gemaakt is en de temperatuur van de draad. De invloed van de eerste drie eigenschappen op de weerstand van een draad ga je in dit experiment onderzoeken.

Onderzoeksvraag

Welk verband is er tussen de soortelijke weerstand (a), de lengte (b) en de dikte (c) van een draad en de weerstand van deze draad?

EXPERIMENT 5 Schakelingen van weerstanden (onderzoekspracticum)

Inleiding
Met drie weerstanden kun je diverse schakelingen maken. In dit experiment ga je een serie- en een parallelschakeling maken. In deze schakelingen meet je alle stroomsterkten en spanningen. Vervolgens ga je na of de gemeten waarden overeenkomen met wat je theoretisch verwacht.

Onderzoeksvraag
Komen de gemeten stromen en spanningen bij diverse schakelingen overeen met de theoretische verwachting?

EXPERIMENT 6 Gemengde schakelingen (onderzoekspracticum)

Inleiding
Met drie weerstanden kun je verschillende gemengde schakelingen maken. In dit experiment ga je twee gemengde schakelingen maken. In deze schakelingen meet je alle stroomsterkten en spanningen. Vervolgens ga je na of de gemeten waarden overeenkomen met wat je theoretisch verwacht.

Onderzoeksvraag
Komen de gemeten stromen en spanningen bij de gemengde schakelingen overeen met de theoretische verwachting?

EXPERIMENT 7 Warmteontwikkeling in een stroomdraad (begrips-demoproef)

Inleiding
Metalen zijn goede geleiders, maar toch hebben ze weerstand. Het gevolg daarvan is dat als er stroom door een draad loopt, daarin warmteontwikkeling plaatsvindt. Daardoor stijgt de temperatuur van de draad.

Onderzoeksvraag
Wat zijn de gevolgen van het sturen van een grote stroom door verschillende typen draad?

EXPERIMENT 8 De hittedraadstroommeter (apparatuurpracticum)

Inleiding
Als door een draad stroom loopt, zal door de warmteontwikkeling in de draad de temperatuur stijgen. Door de temperatuurstijging zet de draad uit.

Onderzoeksvraag
Kan de uitzetting van de stroomdraad gebruikt worden om stroomsterkten te meten?

ONDERZOEK Deelstromen bij een parallelschakeling

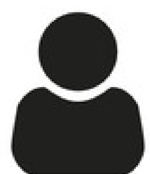
Inleiding
Als je drie weerstanden parallel schakelt en aansluit op een spanningsbron, vertakt de hoofdstroom zich in drie deelstromen. In dit onderzoek ga je meten hoe de hoofdstroom zich verdeelt over de drie weerstanden.

Onderzoeksvraag
Hoe verhouden zich de deelstromen door de afzonderlijke weerstanden bij een parallelschakeling van drie weerstanden?

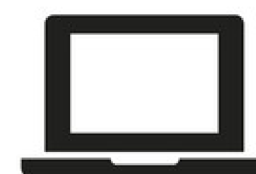
Praktisch
Gebruik een stroommeter. Wissel tijdens de metingen niet van bereik.

Conclusie
Beantwoord de onderzoeksvraag. Klopt de verhouding van de gemeten deelstromen met wat je verwacht uitgaande van de drie weerstandswaarden?

MAX


Je mag dit boek houden.
Handig als naslagwerk.


Je mag in dit boek schrijven
en aantekeningen maken.


Je hebt ook toegang tot
de online leeromgeving.

AUTEURS

Rick Cremers

Louis Lenders

François Molin

EINDREDACTIE

Emile Verstraelen

MET MEDEWERKING VAN

Fons Alkemade

Bart-Jan van Lierop

601858

MALMBERG